

E.T.S. de Ingeniería Industrial,  
Informática y de Telecomunicación

# **EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ANÁLISIS DE POTENCIALES DE AHORRO EN LAS INSTALACIONES DE PINTURA DE VOLKSWAGEN NAVARRA, S.A.**



Grado en Ingeniería  
en Tecnologías Industriales

**Trabajo Fin de Grado**

Autora: Ana Gómez Corcuera

Director: Pablo Sanchis Gurpide

Codirector: Antonio Mendía Mauleon

Pamplona, Junio del 2015





## TRABAJO FIN DE GRADO

**ANA GÓMEZ CORCUERA**



Con la colaboración de **VOLKSWAGEN NAVARRA, S.A.**



**Volkswagen**  
Navarra, S.A.



## RESUMEN

El presente Trabajo de Fin de Grado (en adelante TFG) se ha realizado en su totalidad en la empresa Volkswagen Navarra, S.A. en el departamento de Pintura. Gracias a la formación tanto en el proceso de preparación y pintado de las carrocerías como en las instalaciones y las partes que la componen, se ha realizado un estudio energético de los consumos de gas y electricidad de las instalaciones de pintura de forma detallada para que sirva de base de futuras auditorías energéticas. Tras el análisis de los consumos se han identificado los procesos con mayor potencial de ahorro, analizando también qué instalación de cada uno de esos procesos sería la más propicia para implementar una medida de ahorro que reduzca su consumo. Apoyándose en las propuestas de medidas de ahorro internas del grupo Volkswagen, se han elegido tres de ellas (una implantada y otras dos seleccionadas para su estudio y valoración) para realizar un cálculo más detallado del ahorro tanto energético como económico que suponen.

PALABRAS CLAVE: Think Blue, Consumo energético, SGE, Potencial de ahorro, Massnahmen@web<sup>1</sup>.

---




<sup>1</sup> Massnahmen@web: base de datos del Grupo Volkswagen donde se recogen todas las propuestas de mejora de todas las marcas del consorcio.




## ABSTRACT

This End of Degree Project has been done in the company Volkswagen Navarra, S.A. in the Department of Painting. Thanks to the instruction received both in the preparation and painting of the bodywork processes and the facilities and parts that form them, an energy study has been done focusing in the consumption of gas and electricity in the Painting facilities in order to be used in future energy audits. After analyzing the abovementioned consumptions, the processes with a greater saving potential have been identified as well as which facility would be the most suitable for the purpose of implementing a consumption reduction measure. Supported by the internal measures proposed by the Volkswagen group, three alternatives have been selected (one already implemented and two other chosen for their study and valuation) in order to calculate in more detail the energetic and economic savings that they would generate.

**KEYWORDS:** Think Blue, energy consumption, SGE, saving potential, Massnahmen@web.

## ÍNDICE

RESUMEN.....	5
ABSTRACT.....	6
OBJETO Y ALCANCE DEL TRABAJO DE FIN DE GRADO .....	1
1. INTRODUCCIÓN FÁBRICA VOLKSWAGEN NAVARRA .....	3
1.1. GRUPO VOLKSWAGEN .....	3
1.2. VOLKSWAGEN NAVARRA: HISTORIA .....	4
2. PROCESO DE PRODUCCIÓN VW NAVARRA. ....	6
2.1. PRENSAS .....	8
2.2. CHAPISTERÍA.....	10
2.3. PINTURA .....	11
2.3.1. NAVE 2C .....	11
2.3.2. NAVE 2AB .....	16
2.3.3. NAVE 2.....	22
2.4. MONTAJE .....	23
2.5. REVISIÓN FINAL .....	23
3. CONSUMO ENERGÉTICO DE PINTURA EN VOLKSWAGEN NAVARRA, S.A. ....	25
3.1. FLUJO DE ENERGÍA .....	25
4. DESCRIPCIÓN ENERGÉTICA DE LAS NAVES DE PINTURA .....	28
4.1. EVOLUCIÓN DE LOS CONSUMOS DE LAS TRES NAVES A LO LARGO DEL TIEMPO .....	29
4.1.1. CONSUMO ELÉCTRICO NAVE 2C .....	30
4.1.2. CONSUMO ELÉCTRICO DE LA NAVE 2 .....	31
4.1.3. CONSUMO DE GAS EN LAS NAVES 2 Y 2C .....	32
4.1.4. CONSUMO ELÉCTRICO DE LA NAVE 2AB.....	34
4.1.5. CONSUMO DE GAS EN LA NAVE 2AB .....	34
4.1.6. RATIOS: CONSUMO TOTAL POR CARROCERÍA FABRICADA .....	36
4.2. INTRODUCCIÓN CONSUMOS .....	37
4.3. CONSUMO DE LA NAVE N2C.....	40
4.3.1. CONSUMO ELÉCTRICO:  .....	40
4.3.2. CONSUMO DE GAS:  .....	46
4.4. CONSUMO DE LA NAVE N2AB.....	48
4.4.1. CONSUMO ELÉCTRICO:  .....	48

4.4.2.	CONSUMO DE GAS: 	60
4.5.	CONSUMO DE LA NAVE N2	64
4.5.1.	CONSUMO ELECTRICO: 	65
4.5.2.	CONSUMO DE GAS: 	68
4.6.	CONCLUSIONES CONSUMOS ENERGÉTICOS	69
5.	POTENCIALES DE AHORRO	70
5.1.	INTRODUCCIÓN	70
5.2.	PROCESOS	71
5.2.1.	VENTILACIÓN	71
5.2.2.	BOMBAS-ESKA	76
5.3.	HORNOS	78
6.	MEDIDAS DE AHORRO	80
6.1.	INTRODUCCIÓN	80
6.2.	GESTIÓN MEDIDAS DE AHORRO EN VW NAVARRA (MASSNAHMEN@WEB)	82
7.	ESTUDIO TEÓRICO DE LAS MEDIDAS DE AHORRO ELEGIDAS PARA LOS POTENCIALES DE AHORRO LOCALIZADOS	84
7.1.	REDUCCIÓN TEMPERATURA DE LOS HORNOS	85
7.2.	RECUPERACIÓN DE CALOR DE RUEDA DESHUMECTADORA EN HORNO INTERMEDIO A CABINAS DE PINTURA	88
7.3.	VARIADORES DE FRECUENCIA EN LAS BOMBAS DEL ESKA	93
7.4.	CONCLUSIONES MEDIDAS DE AHORRO	98
8.	CONCLUSIONES	99
	ANEXO I	101
	ANEXO II	102
	ANEXO II-I	102
	ANEXO II-II	102
	ANEXO II-III	102



## OBJETO Y ALCANCE DEL TRABAJO DE FIN DE GRADO

### **OBJETO:**

El objeto de este Trabajo de Fin de Grado es realizar un estudio energético de las naves de pintura de la fábrica Volkswagen Navarra, S.A., localizar posibles puntos de mejora del potencial de ahorro y análisis del desarrollo de la eficiencia energética que se ha ido consiguiendo con la aplicación de diversas medidas y estudiar nuevas medidas de ahorro energético apoyadas con estudios que demuestren su rentabilidad.

Para poder entender el consumo energético de pintura se explicará el proceso que sufre todo el automóvil desde Prensas hasta Revisión Final, teniendo más detalle en pintura especificando los consumos de cada nave y en qué se dan los mayores gastos energéticos.

### **ALCANCE:**

En el grupo Volkswagen se ha implantado la estrategia Think Blue cuya finalidad es reducir el impacto ambiental de la marca un 25% en el período 2010-2018. Dentro de Volkswagen Navarra, las naves de pintura son las que más impacto medioambiental tienen debido a los procesos que se siguen en ellas: cabinas de pintado, hornos de secado, calderas, acondicionamiento de aire... los cuales necesitan un gran consumo de energía y agua, así como el uso de disolventes.

Para poder implementar medidas que realmente ayuden en el ahorro energético y la reducción de los impactos, deben analizarse a fondo todos los consumos de las naves y localizar los puntos donde se originen derroches energéticos. Después de realizar ese estudio se realizará un análisis teórico de tres propuestas directas del Objetivo Think Blue.



# 1. INTRODUCCIÓN FÁBRICA VOLKSWAGEN NAVARRA

## 1.1. GRUPO VOLKSWAGEN

El grupo Volkswagen se compone de un total de 12 marcas automovilísticas con sede todas en ellas en Europa. Estas marcas definen el grupo y son: Audi, SEAT, BENTLEY, SKODA, Bugatti, Lamborghini, Porsche, DUCATI, Scania, Man, Volkswagen Commercial Vehicles y Volkswagen. Cada una de las marcas conserva su independencia y carácter propio a la vez que forma parte del grupo.

Tiene sede central en Wolfsburg (Alemania), y es el fabricante de automóviles líder en Europa, perteneciendo al grupo una quinta parte de las ventas de vehículos en Europa Occidental. Por ejemplo en 2014 el grupo vendió 10,14 millones de coches de los cuales, 6,12 millones eran de la marca Volkswagen. En total tienen 119 fábricas distribuidas por todo el mundo, exportando desde ellas vehículos a más de 154 países. La principal distribución de estas fábricas se tiene por Europa, más concretamente en Alemania, pero también tienen fábricas en América, África y Asia.

A nivel internacional no obstante, su mayor competidor es Toyota, puesto que fuera de Europa se posiciona en el primer puesto. El grupo se ha propuesto superarles en ventas fijándose como meta el año 2018, además también se ha propuesto llegar a ese año minimizando al máximo las emisiones de dióxido de carbono y el consumo de la energía (agua, gas y electricidad). A este objetivo se le denomina Estrategia “Mach 18”.

El grupo cuenta con más de medio millón de empleados que producen diariamente 41.000 unidades de coches al día compuestos de 310 modelos.

La estrategia Mach 18 tiene como fin cumplir cuatro objetivos poniendo el año 2018 como límite para conseguirlo, y estos objetivos son:

- Los mejores en satisfacción del cliente y calidad.
- Retorno de la inversión 21%.
- Vender de 6,6 millones de vehículos.

-Ser el mejor empleador.

Dado que el mercado va evolucionando, cada vez hay mayor competencia y los clientes son más exigentes, estos objetivos ayudarían al grupo a situarse en la empresa número uno en ventas de vehículos en el ámbito internacional.

## 1.2. VOLKSWAGEN NAVARRA: HISTORIA

En sus inicios Volkswagen Navarra no existía como tal, sino que se llamaba AUTHI y estuvo produciendo desde 1965 hasta 1975. En los 10 años que estuvo operativa tuvo una producción total de 131.744 coches de los cuales sólo se exportó el 17,4% quedándose el resto en España. En ese período de tiempo se produjeron cuatro modelos, el primero de ellos fue el Morris y se lanzó en 1966 con un volumen de 17.978 unidades producidas. Otro de los modelos, el que más vendió, fue el Mini, con una producción de 83.596 vehículos. El Austin y el Victoria fueron los otros dos modelos que fabricó AUTHI con una producción de 9.384 y 20.786 coches respectivamente. Todo ello fue posible en una fábrica de 441.636m<sup>2</sup> de superficie.

Finalmente en 1975 SEAT adquirió AUTHI y lanzó el SEAT 124 con una producción de 131.603 coches. Más tarde en 1979 se lanzó un nuevo modelo llamado LANCIA, que fue del que menos unidades se produjeron por la empresa en dicha fábrica, sólo unas 2.750. Por último en 1980 se lanzó el SEAT Panda, que tuvo 149.872 coches producidos, más que los otros dos modelos. En total SEAT produjo unos 284.225 coches, de los cuales sólo el 30.6% se exportaron.

Todo ello se realizó en la fábrica situada en Landaben, pero se amplió para poder realizar las producciones de los tres modelos y se quedó en 789.521 m<sup>2</sup> de superficie.

El final de la vida de SEAT en ésta fábrica se determina en 1983 cuando firma un contrato de colaboración con Volkswagen, que ocupó la fábrica de SEAT y donde sigue en funcionamiento actualmente. En el transcurso de su vida ha producido un total de 6.773.879 de coches exportando más del 90% de los mismos. Hasta la fecha se han

fabricado un total de ocho modelos distintos:

-Polo A02:	162.043 coches producidos.
-Polo A02 GP:	1.189.291 coches producidos.
-Polo A03:	1.393.211 coches producidos.
-Polo A03 GP:	561.692 coches producidos.
-Polo A04:	809.884 coches producidos.
-Polo A04 GP:	979.092 coches producidos.
-Polo A05:	1.502.062 coches producidos.
-Polo A05 GP:	259.273... coches producidos hasta diciembre de 2014.

Todo este volumen de producción se ha podido realizar en una superficie de 1.630.199m<sup>2</sup>, ampliándose las naves y actualizándose las cadenas de producción y montaje.

Al día se produce una media de 1400 coches aunque está ligado a la demanda, si ésta aumenta o disminuye mucho se modifica el calendario laboral para ajustarse a los pedidos. Ésta es una de las muy buenas características que tiene VW Navarra, y es que sus trabajadores son flexibles respecto al calendario laboral y permite que la empresa se amolde a la demanda existente puesto que sólo se fabrican coches que ya se han vendido.

Del total de producción de la fábrica, más del 90% se exporta fuera de España, siendo el año 2011 el año con más coches fabricados de la historia: 353.235 coches, y seguido por el año 2014 con una fabricación de 305.700 coches.

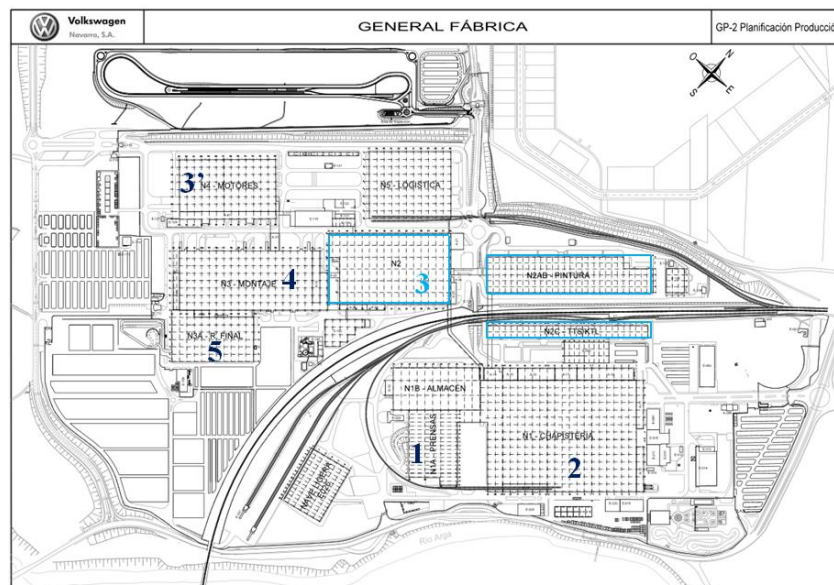
Esta empresa sigue medrando y ganando más confianza del grupo. Esto lo consigue posicionándose en la primera mitad de 2015 como empresa líder automovilística del territorio español y situando al Polo como el 8º coche más vendido.

## 2. PROCESO DE PRODUCCIÓN VW NAVARRA.



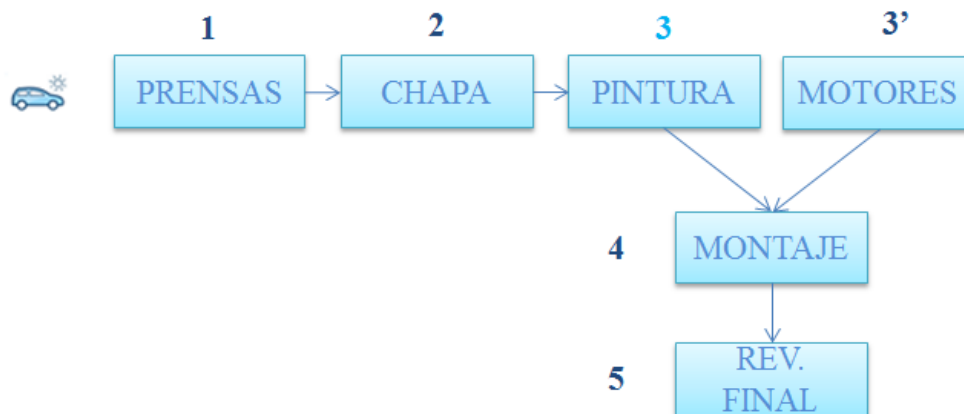
**Imagen 1:** Volkswagen Navarra, S.A.

Se van a exponer ahora los procesos de fabricación que se deben de llevar a cabo para la fabricación del Polo. Se hará una descripción de las instalaciones y de los procesos por los que debe pasar el automóvil de forma breve excepto Pintura, en la que se hará especial hincapié en la descripción de los procesos ya que este trabajo se desarrolla en dichas instalaciones y se basa en el comportamiento energético de las mismas.



**Imagen 2:** Lay Out de la fábrica Volkswagen Navarra, S.A.

En esta imagen se muestra el Lay Out de la fábrica, situada en el polígono de Landaben. En ella se han marcado tres naves (3) que son las pertenecientes a Pintura, donde se desarrolla el grueso de este TFG.



**Imagen 3:** Esquema de los pasos para la fabricación de un polo.

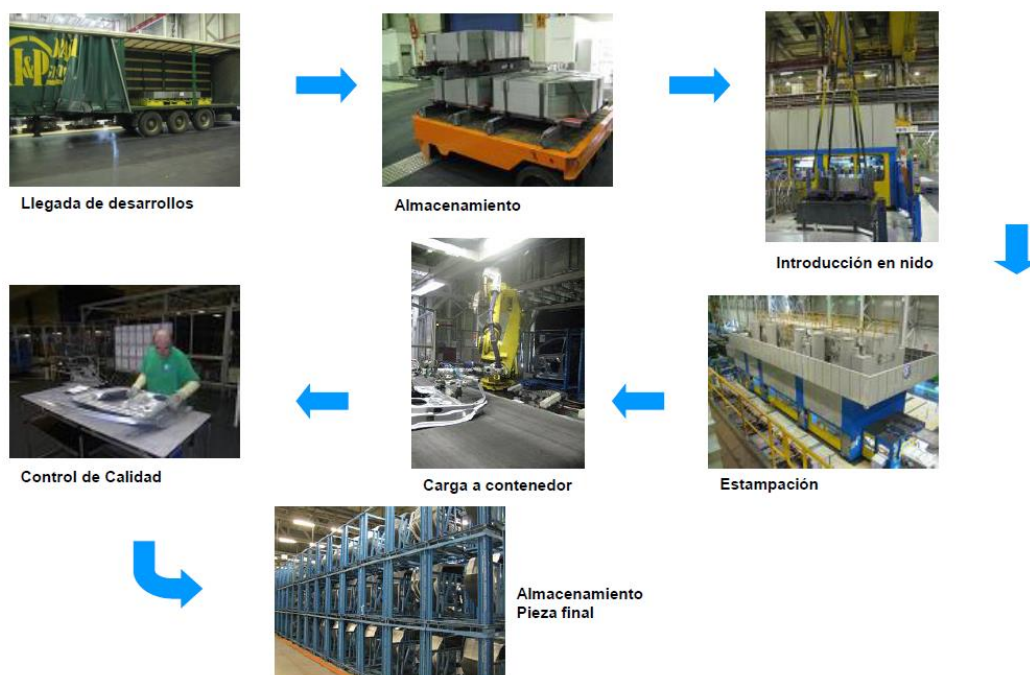
El proceso de fabricación tiene comienzo en Prensas, donde se les da forma a las chapas de las distintas partes de la carrocería del coche. Estas piezas se llevan a la nave de Chapistería, encargada de unir las chapas para obtener la carrocería del automóvil. Cuando se tiene montada y bien soldada toda la carrocería se transportan a Pintura, más concretamente en primer lugar a TTS-KTL (nave 2C), luego a la nave 2AB y por último a la nave 2. Cuando las carrocerías ya han sido tratadas y pintadas se llevan a montaje donde se introduce el motor (procedente de la nave de Motores) en la carrocería. Después se instalan el resto de elementos del coche. Por último se llevan a Revisión Final donde se le realizan unas últimas pruebas al coche y se da por finalizada su fabricación.



## 2.1. PRENSAS

En la actualidad se está fabricando el modelo de polo A05GP, pero éste tiene varias opciones de personalización en cuanto a diseño de carrocería: dos o tres puertas, o techo abatible o no abatible.

Todas las piezas de la carrocería se fabrican en la nave de Prensas. Para su obtención se encargan los desarrollos de chapa para su estampación, la cual se realiza en un solo golpe para así obtener las aletas, los laterales y el techo. El estampado se realiza gracias a los troqueles. Cambiando los troqueles se consigue la estampación de distintas piezas, dependiendo del tipo de Polo que se necesite fabricar y del modelo que se haga en la actualidad. Prensas tiene una capacidad de producción de 36.000 golpes/día.



**Imagen 4:** Flujo de trabajo en la nave de Prensas.

Las chapas vienen ya en desarrollos (pre cortadas) y se transportan en carretilla hasta la zona de almacenamiento donde son identificadas y revisadas para luego distribuir las a las distintas prensas, y se las alimenta de forma automatizada. La parte más importante de las prensas para la estampación son los troqueles, los cuales se irán cambiando en función de la pieza que se quiera fabricar.





**Imagen 5:** Transfer depositando pieza en cinta transportadora.

Para evitar imperfecciones en la carrocería, deformaciones y cambios en la composición química de la materia prima, se le da unos tratamientos previos a la estampación. Se limpia bien la chapa y se le agrega lubricante para que la prensa no agriete ni parta la pieza en el golpe.

Después del prensado un transfer retira la pieza de la prensa para depositarla en la cinta de salida.

Una vez hechas las piezas, logística se encarga de trasladarlas a la nave de Chapa, donde se unirán y formarán la carrocería del Polo.

## 2.2. CHAPISTERÍA

En Chapistería se reciben todas las piezas fabricadas en prensas y junto con el resto de piezas necesarias adquiridas por proveedores externos, se realiza su unión y se obtiene de esta forma la carrocería, que se trasladará después a pintura.



**Imagen 6:** Soldadura de bastidor en Chapistería

La nave de Chapistería está dividida en dos talleres: Taller 1, donde se ensamblan las piezas sin elementos móviles; y el Taller 1B, que es donde se ensamblan todas las partes móviles. Esta nave se caracteriza por su alto nivel de automatización, en torno a un 95% y en su conjunto esta nave se encarga de manipular, soldar y aplicar masillas.

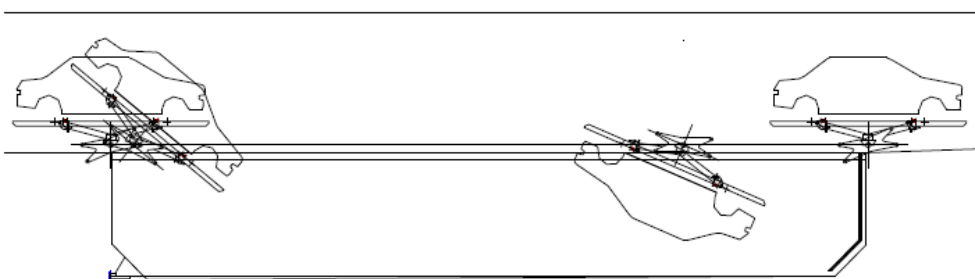
Se usa la soldadura láser puesto que deja mejores resultados con respecto a las características de la chapa, no contamina y es más efectiva y más resistente a la corrosión que la soldadura por puntos.

## 2.3. PINTURA

Pintura es la instalación que más ha evolucionado en estos últimos años, pasando de hacerse todo el proceso en una sola nave a las tres naves que se utilizan ahora. A continuación se va a mostrar una descripción de las naves y los procesos por los que se hace pasar la carrocería.

### 2.3.1. NAVE 2C

En la nave 2C se pueden distinguir fundamentalmente 2 procesos: TTS y KTL. Cuando la carrocería llega por el túnel desde chapa, se le cambia de patines puesto que en esta nave, la carrocería se montará en un RoDip<sup>2</sup> para poder transportarla por los baños de las líneas de tratamiento, y estos patines son distintos a los de chapa.



**Imagen 7:** Esquema de una carrocería montada en un RoDip.

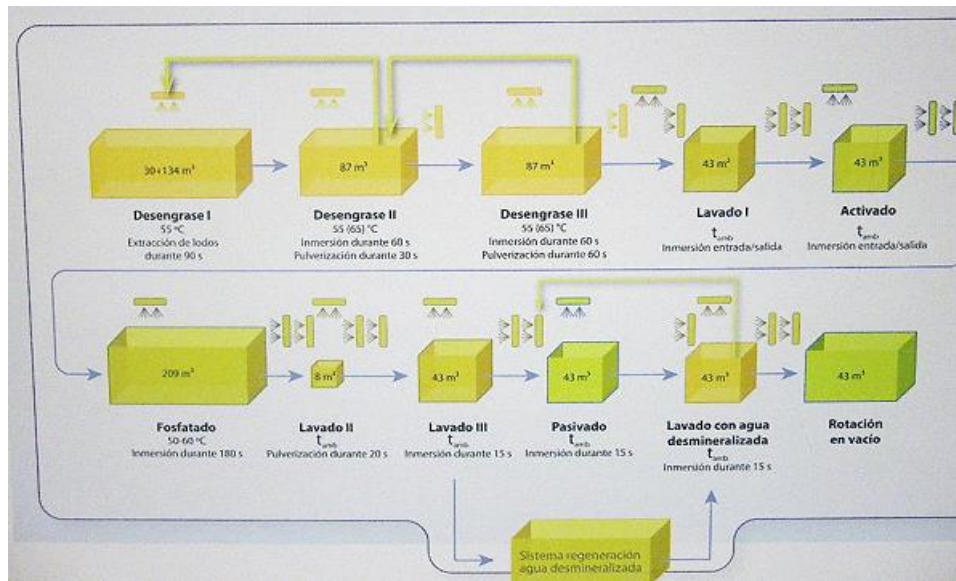
Después del cambio de patines se lleva la carrocería a su primer proceso: TTS. Cuando termine se la llevará al siguiente: KTL.

### TTS

Ésta es la línea de tratamiento de superficies (TTS), donde se trata la superficie de la carrocería en dos pasos: limpieza química (desengrase, lavado y activado) y fosfatación (fosfatado, lavado, pasivado, lavado con agua desmineralizada y rotación en vacío).

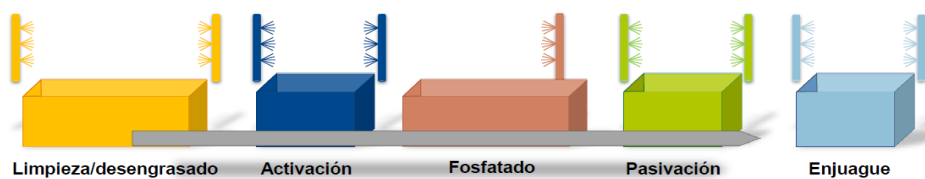
El esquema de los procesos por los que pasa la carrocería en TTS es el siguiente:

<sup>2</sup> RoDip: Sistema de transporte pendular.



**Imagen 8:** Esquema fases línea TTS.

En primer lugar se describen los distintos tipos de limpieza química:

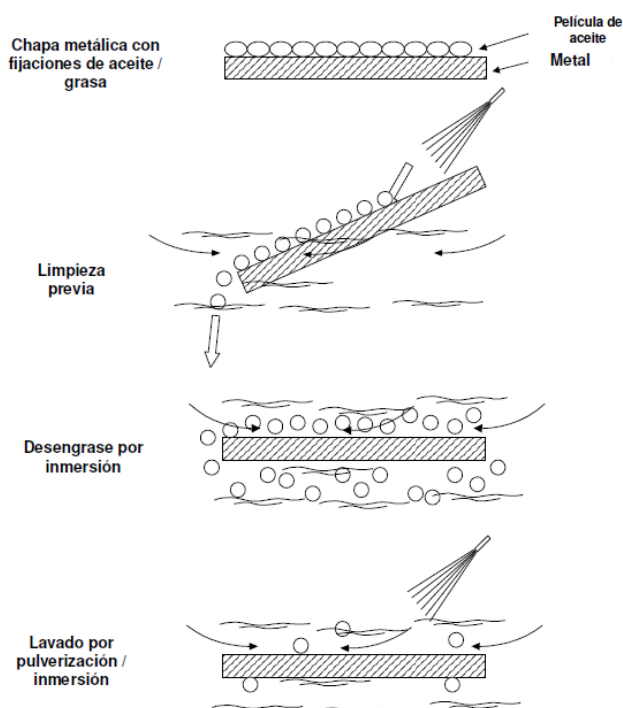


**Imagen 9:** Fases de la limpieza química en TTS.

- **Desengrase I:** el desengrase tiene como fin eliminar las bacterias y el lubricante que trae la carrocería desde chapistería y prensas para poder lavarla bien al final y así lograr que el tratamiento contra la corrosión y la pintura se adhieran mejor a la chapa. Para lograr un desengrasado eficaz hay que dominar cuatro factores: agua, calor, sustancias químicas y energía cinética. El calor lo controlamos manteniendo el baño a una temperatura de 55°C. El tiempo de ciclo por el cual se extraen los lodos obtenidos del desengrase es de 90 segundos durante los cuales el RoDip va girando la carrocería en el baño para proporcionarle la energía cinética necesaria. La cantidad de agua que se necesita para esta primera fase es de unos 164m³.

En este proceso los agentes tensioactivos llegan a la superficie contaminada. Las moléculas tensioactivas deshacen la tensión superficial límite entre la superficie metálica y la fase líquida.

- Desengrase II: la temperatura se sigue manteniendo a 55°C aunque puede aumentarse hasta diez grados más. En esta fase el RoDip mantiene la carrocería sumergida durante 60 segundos y luego se pulveriza durante 30 segundos.
- Desengrase III: con el mismo rango de temperaturas que desengrase II, pero con un tiempo de ciclo total distinto: inmersión y pulverización durante 60 segundos cada uno.



**Imagen 10:** Esquema de los tipos de lavados en TTS.

- Lavado I: hay dos tipos de lavado: por pulverización y por inmersión; en esta primera fase de lavado se utilizará el método por inmersión. Se lava la carrocería retirando los restos del tratamiento de desengrase. La temperatura del agua en esta fase es la del ambiente y sólo es un aclarado por lo que el RoDip entra y sale directamente por una bañera de 43m<sup>3</sup>, pasando a la siguiente fase.
- Activado: La activación consiste en la humectación de la superficie por medio de una sustancia química de activación gracias a la cual se generan gérmenes cristalinos, que garantizan la formación de una capa uniforme de fosfato de

cristales finos. Esta activación además es un importante aporte óptico y muy necesario para la calidad del acabado de la pintura. La temperatura, el tiempo de ciclo y el volumen de líquido utilizado en esta fase son idénticos que en la fase de lavado.

- Fosfatado: durante una inmersión de 180 segundos y a una temperatura de entre 50-60°C se somete la carrocería al fosfatado, que consiste en la inmersión de la carrocería en un baño de 209 m<sup>3</sup> donde se genera una fina capa de fosfato de zinc en la superficie y al formarse ésta se formará fosfato de hierro. Los lodos que se generan en esta fase son resultado de la precipitación del hierro soluble, por lo que hay un filtro prensa encargado de ir retirando continuamente el lodo. Los filtros prensa se van limpiando periódicamente a mano, y los lodos resultantes de este proceso se destinan a la depuradora.
- Lavado II: se le aplica un lavado por pulverización de 20 segundos para eliminar los restos del tratamiento de fosfatado. El tiempo de ciclo total es de 30 segundos.
- Lavado III: éste es el lavado definitivo, con un tiempo de lavado por inmersión de 15 segundos. Tanto éste como el anterior lavado se realizan con agua a temperatura ambiente.
- Pasivado: en esta fase los cristales de fosfato se rellenan formando una superficie lisa. La inmersión durante un tiempo ciclo de 15 segundos se realiza a temperatura ambiente.
- Lavado con agua desmineralizada: mismo tiempo de ciclo y temperatura que el pasivado, la diferencia es que en este baño se lava la carrocería con agua desmineralizada.
- Rotación en vacío: es la última fase de TTS, se rota la carrocería en vacío para eliminar cualquier resto de líquido y de gotas y así dejarla seca y sin imperfecciones.



## KTL

En segundo lugar nos encontramos la cataforesis, que se encarga de proteger a la carrocería frente a la corrosión y preparar su superficie para el posterior proceso de pintura.

- Baño de cataforesis: la pintura cataforética por inmersión es un procedimiento de recubrimiento que utiliza procesos electroquímicos para decantar la pintura. Esta pintura es un medio de protección contra la corrosión. Gracias al método de aplicación de dicha pintura se logra llegar a todos los puntos de la carrocería y que la capa aplicada sea exacta, además de que dicho proceso no es contaminante. El baño de cataforesis se realiza a una temperatura de unos 30°C y el posterior lavado a unos 40-45°C. todo el proceso dura un tiempo de ciclo de 300 segundos.
- Lavado con ultrafiltrado y agua desionizada: consiste en una serie de duchas entre las que se encuentran una de ultrafiltrado limpio, una de ultrafiltrado recirculado, un baño de inmersión en ultrafiltrado sucio y duchas de ultrafiltrado y agua desionizada. Aquí los parámetros a controlar serán el pH, los caudales y la no volatilidad.
- Horno de cataforesis: el último proceso que sigue la carrocería es su entrada a los hornos de KTL para el secado de su pintura. Aquí hay que tener en cuenta la temperatura y el tiempo que están en él las carrocerías.

Además en la cataforesis hay instalaciones auxiliares como son:

- Circuito de anolito<sup>3</sup>: aquí hay que tener en cuenta la conductividad; y sus funciones son regular la concentración de ácido y la refrigeración de los ánodos.
- Sistemas de filtración y agitación (removido).
- Almacenamiento y adición de productos.
- Contracubas.

También se cuenta con controles de proceso y controles de calidad como son:

---

<sup>3</sup> Anolito: Parte del electrolito más cercana al ánodo. Utilizado en los baños para el lavado y desinfección.

- Control de espesores: mediciones, valores mínimos y acciones para modificarlos.
- Paros de cadena y caída de temperatura en el horno.
- Gotas de ultrafiltrado.
- Suciedades y gotas de aceite.

### 2.3.2. NAVE 2AB

Una vez terminado el proceso anterior en la nueva nave de Pintura (nave 2C), las carrocerías pasan por un puente cubierto hasta otra nave dividida en dos partes: 2A y 2B. A continuación se describe el proceso realizado en ellas.

#### **MASILLAS**

Lo primero que se le aplica a las carrocerías es la masilla. Entre las funciones que tiene este proceso se encuentran la protección frente a la corrosión, la impermeabilización e insonorización y la protección de las taloneras de las carrocerías frente a la gravilla que pueda golpear.

Existen dos tipos de masilla: la masilla fina (FAD) y la masilla gruesa o PVC. La composición de las mismas son PVC/copolímeros, plastificantes, cargas y aditivos y su propiedad más importante es la viscosidad, la cual se modifica con la temperatura, la presión y la humedad.

El proceso que siguen las carrocerías en la aplicación de masilla es:

- Aplicación de masilla gruesa (GAD): la aplicación de masilla gruesa a las carrocerías se realiza fundamentalmente en los bajos y en el cofre motor. Este suministro permite que el coche quede perfectamente sellado por aquellas zonas más vulnerables a la corrosión. Los parámetros a controlar son la presión y la temperatura.





**Imagen 11:** Aplicación masilla gruesa.

- Aplicación de masilla fina (FAD): el suministro de masilla fina se realiza en el contorno de los elementos móviles de la carrocería. Evita la corrosión y entrada de agua en el interior del habitáculo del coche. Los parámetros a tener en cuenta son los mismos que con la masilla gruesa.
- Horno UBS: horno diseñado para que sólo endurezca la masilla, sin secarla del todo. El fin de esto es que los operarios de las líneas de lijado puedan manipularla sin deformarla, pero que si fuera necesario retirarla se pueda hacer sin problemas.

## **LIJADO**

A la salida de los hornos de UBS las carrocerías pasan por las cabinas de lijado, donde los operarios quitarán las imperfecciones que tengan las carrocerías antes de ir a las cabinas de pintura. Estas imperfecciones pueden ser: gotas de ultrafiltrado, suciedades o restos de masilla.

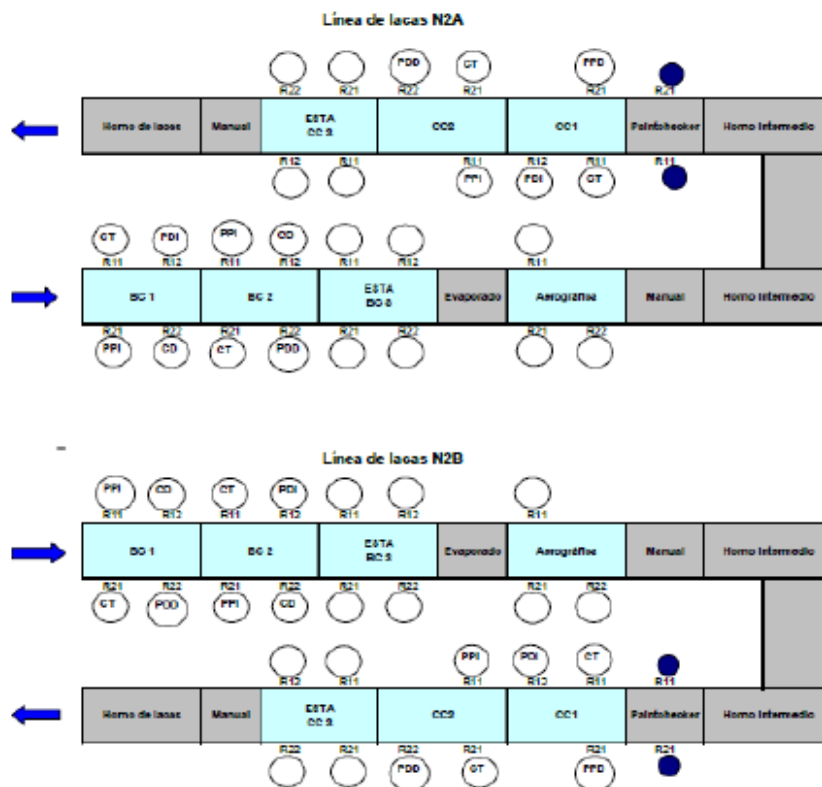
## **CABINAS DE PINTADO**

A estas cabinas de pintado se les conoce como cabinas de lacas (bases + barniz). El objetivo de estas cabinas es el de proteger la carrocería frente a agentes externos (físicos y químicos), dar el aspecto exterior (color, brillo y estructura) y el preparar la superficie para procesos posteriores (pegado de las lunas).

Los componentes principales de las pinturas son los ligantes o resinas, los

pigmentos, los disolventes y los aditivos.

En el esquema siguiente se puede apreciar la distribución que tienen las líneas de lacas de las naves 2A y 2B y también se pueden distinguir las cabinas donde se aplica la pintura base BC (Base Coat) de las carrocerías, los hornos intermedios que están antes de entrar a pintarlas con barniz y las cabinas donde se le aplica el barniz CC (Clear Coat).



**Imagen 12:** Esquema distribución cabinas de lacas.

- Estación de BC1 y BC2 (aplicación en interiores): las estaciones 1 y 2 son complementarias. Cada una incluye 4 robots, 3 scaras y 2 manipuladores. Las scaras son los robots que abren las puertas y los manipuladores son los encargados de levantar el capó y el portón.

En la primera estación se inicia el proceso de pintado de los interiores: tanto de los laterales, como de los capós que se completan en la segunda estación. Posteriormente, la carrocería llega a la posición de pintado y en ese momento, cada robot envía la orden de operación a su scara y/o manipulador correspondiente. Cuando los manipuladores y scaras realizan su secuencia de

acción y confirman la posición de maniobra adecuada, los robots comienzan la aplicación de pintura sin catalizador.

- Estación BC3-ESTA (aplicación en exteriores): consiste en la aplicación en exteriores de una base utilizando una carga eléctrica en el proceso de pintado. La estación consta de cuatro robots que generan, cada uno de ellos, su propio campo eléctrico y consiguen la carga eléctrica de la pintura. Este campo eléctrico se genera en los electrodos situados en cada uno de los dedos del robot, que rodean al pulverizador. La aplicación de la pintura catalizada se produce en los exteriores de la carrocería. En este caso y para cada brocha se disponen de varios parámetros variables, siempre en función de la propia brocha, y del color a aplicar. En esta estación, la totalidad de las brochas está disponible en todos los robots, para que en caso de necesidad se pueda pintar en “modo emergencia” y solventar la falta de operación de uno de ellos con el resto.



**Imagen 13:** Cabina BC3.

- Estación BC4 (aplicación de pintado automático): es un proceso que consiste en la aplicación mediante 3 robots equipados con doble boquilla, de una pintura sin catalizador en carrocerías con colores metalizados.
- Estaciones de ECOMAC y limpieza de códigos: la estación de ECOMAC es donde se realiza la verificación y el repaso de las zonas que lo necesitan para completar la aplicación de base. Se utilizan pistolas manuales con pintura no catalizada y la limpieza de las pistolas es automática y se realiza en cada carrocería y cuando se cambia de color.

La estación de limpieza de códigos es la siguiente, y después de ella se encuentra la entrada del horno intermedio. Se utiliza aguamix como agente limpiador aplicándose con pistola sobre el código de barras.

- Horno intermedio: el tiempo total de evaporación en la base, es decir, la fase previa a la entrada en el horno intermedio es de 4 minutos si a la carrocería no se le aplica pintura en la aerográfica, y de 2 minutos para los colores metalizados, que sí la incorporan.

El horno intermedio permite la evaporación de los disolventes de la pintura (agua) antes de la aplicación del barniz en la línea de CC (Clear Coat). Actualmente, este proceso tiene una duración aproximada de 13 minutos hasta la llegada a la estación del Paint-Checker y de 13 minutos y 47 segundos hasta la primera estación de CC, donde se aplican barnices en los interiores.

Asimismo, el horno intermedio consta de 10 mesas para carrocerías y tiene controlado, tanto su temperatura (48°C) como su humedad absoluta (3,2 gr/kg de aire).

- Estación Paint Checker: está formado por dos robots para la medición de espesores de base con un total de 70 puntos, 35 a cada lado. Mide los valores de espesor de base para cada carrocería que entra en cabina y seguidamente, mediante un software, permite tanto buscar valores medios y desviaciones standard, como ofrecer datos archivados por fecha, color, etc...
- Estaciones CC1 y CC2 (aplicación de barniz): cada una de estas dos estaciones está equipada con 3 robots, 3 scaras y un manipulador (no se barniza el interior del CD) y se aplica una capa de barniz junto con un catalizador (circuito H1, 3:1). El procedimiento de acción de los robots es muy similar al descrito para la aplicación de base, donde cada robot intercambia instrucciones con sus scaras o manipuladores asignados y cuando las acciones son completadas y confirmadas, comienza el proceso de aplicación del barniz. Tal y como ocurre con la aplicación de base en interiores, cada brocha (con su correspondiente descripción de movimiento, giro, aplicación...) tiene una serie de parámetros de aplicación: caudal de pintura, aire de abanico y aire de pulverizador. Son los mismos que se tienen en cuenta en la aplicación de interiores de base. Asimismo, su concepto y significado es el mismo con la diferencia que puede

suponer la aplicación de un barniz, como es su transparencia y que es incoloro mientras que la pintura es opaca. Además, el proceso de limpieza abarca la limpieza de boquillas en gunbox<sup>4</sup>.

En la aplicación de barnices, las estaciones 1 y 2 son complementarias. Mientras que la estación 1 incluye dos scaras y dos robots en el lado izquierdo y una scara y un robot en el derecho. En la estación 2 la distribución es inversa.

- Estación CC3-ESTA (aplicación del barniz): este proceso incluye 4 robots para el pintado electrostático donde se aplica el barniz con catalizador. Se trata de varios robots que generan y cambian su propio campo eléctrico, y al igual que ocurre con los robots de aplicación electrostática de base, cada uno de los presentes en la CC3 incluyen todas las brochas existentes con el fin de poder suplir la inactividad de uno de ellos y pintar en modo de emergencia.
- Estación de ECOMAC de repaso: lo mismo que la de lacas pero para el barniz.
- Horno de lacas: se trata de un horno de dos vías donde las temperaturas requeridas son de 135°C durante 22 minutos en la nave 2A y 140°C durante 15 minutos en la nave 2B. Se produce el secado definitivo de las lacas para poder llevar las carrocerías a su siguiente proceso. Antes de que abandonen los hornos, hay unas enfriadoras en las salidas que disminuyen la temperatura de las carrocerías hasta una adecuada para el contacto con los operarios.

---

<sup>4</sup> Gunbox: recipiente para limpiar la pistola de pintura.

## **PULIDO**

A la salida de los hornos, las carrocerías se llevan a otras cabinas donde los operarios se encargan de pulir cualquier tipo de imperfección. Una vez que las carrocerías salen de la zona de pulido, si no tienen ningún fallo van a parar a la antigua nave de Pintura (conocida como nave 2) por un puente cubierto. Si tienen algún fallo que no puedan arreglar los trabajadores de la zona en la propia línea, se desvían y se mandan a “Spot Repair”, donde se encargarán de arreglar los desperfectos. Si el defecto no se puede reparar aquí y está en un elemento móvil, se realiza un cambio de pieza, sin embargo, si está en un elemento que no es móvil, la carrocería se envía a reciclar (volver a pintarse).

### 2.3.3. NAVE 2

Una vez que las carrocerías están en la nave 2, el primer paso por el que deben pasar es el del pegado de cartón de techo, conocido como DVD. Éste es un estabilizador del techo, y una de sus funciones principales es la de evitar vibraciones con la caída de lluvia, granizo o simplemente en el trayecto. Después, es necesario aplicar una cera fría en la parte baja de las puertas, con el fin de añadir otra capa más para evitar la aparición de la corrosión.

Por último, la carrocería se traslada a un horno de atemperamiento para que esté a una temperatura óptima para la aplicación de la cera caliente. Este encerado es automático y se produce por inyección en las secciones tubulares de las taloneras de los coches. La cera se aplica en las zonas de la carrocería donde se prevé que haya humedad o condensación.



**Imagen 14:** Inyección de cera.

## 2.4. MONTAJE

En el Taller de Montaje se completa el proceso de fabricación del vehículo añadiendo a la carrocería ya pintada los componentes exteriores e interiores elegidos por el cliente. Se trata del taller con mayor número de trabajadores, quienes utilizando una moderna tecnología, son imprescindibles para obtener un producto de calidad dentro de un marco de protección medioambiental y prevención de riesgos laborales.

El montaje se estructura en cuatro tramos paralelos, por los que el vehículo se traslada suspendido en un pulpo tradicional que discurre a lo largo de una cadena mecánica. Cuando llega al tramo cuatro, y una vez colocadas las ruedas, la carrocería abandona este sistema para ser trasladada por el suelo.

En esta instalación se une la carrocería y el conjunto mecánico del vehículo, formado por el conjunto Triebatz (procedente del taller de Motores), el puente posterior, el tubo de escape, el depósito de gasolina y los anticalóricos.

El hecho de que el Triebatz sea suministrado por el Taller de Motores exige un alto grado de coordinación entre Motores y Montaje para asegurar la secuenciación de carrocerías y conjuntos mecánicos según la composición requerida. Antes de acoplar el conjunto mecánico a la carrocería, los bloques suministrados de forma secuenciada por Motores y proveedores externos se incorporan a un patín.

Una vez que el coche ya está montado llega al punto de control ZP6, donde se revisan los funcionamientos eléctricos finales, se hacen los ajustes de los elementos móviles y tiene lugar la verificación del guarnecido final. Con ello, se considera que el vehículo ya está preparado para su paso por el último taller: Revisión Final.

## 2.5. REVISIÓN FINAL

Cuando el Taller de Montaje ha dado el coche por terminado, ya sólo resta probarlo y que el departamento de calidad de su visto bueno. Para ello verifica el correcto funcionamiento de los elementos eléctricos y mecánicos, detecta posibles



ruidos y entradas de agua o retoca las posibles anomalías.

La nave está dividida en dos zonas de trabajo por las que pasan la totalidad de vehículos. En la primera se hacen diferentes pruebas y ajustes de los componentes del vehículo, y en la segunda se lleva a cabo el retoque de las posibles anomalías detectadas.



**Imagen 15:** Revisión final.



### 3. CONSUMO ENERGÉTICO DE PINTURA EN VOLKSWAGEN NAVARRA, S.A.

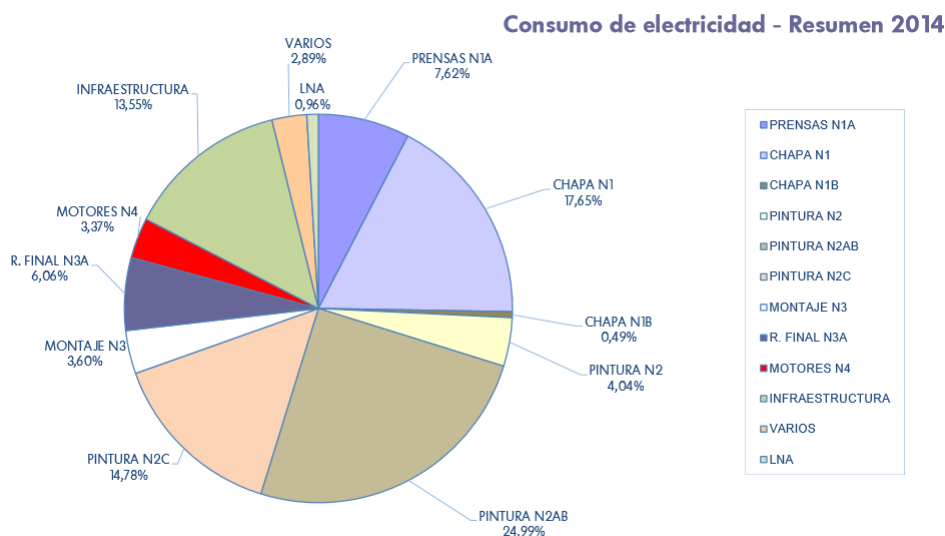
Después de haber visto cuál es el proceso que sigue un Polo para su fabricación y más a fondo de los procesos seguidos en pintura así como su recorrido por las naves, se va a realizar la descripción energética de Pintura, analizando sus flujos de energías, la evolución de su consumo a lo largo del tiempo y el análisis detallado de los consumos de cada uno de sus procesos.

#### 3.1. FLUJO DE ENERGÍA

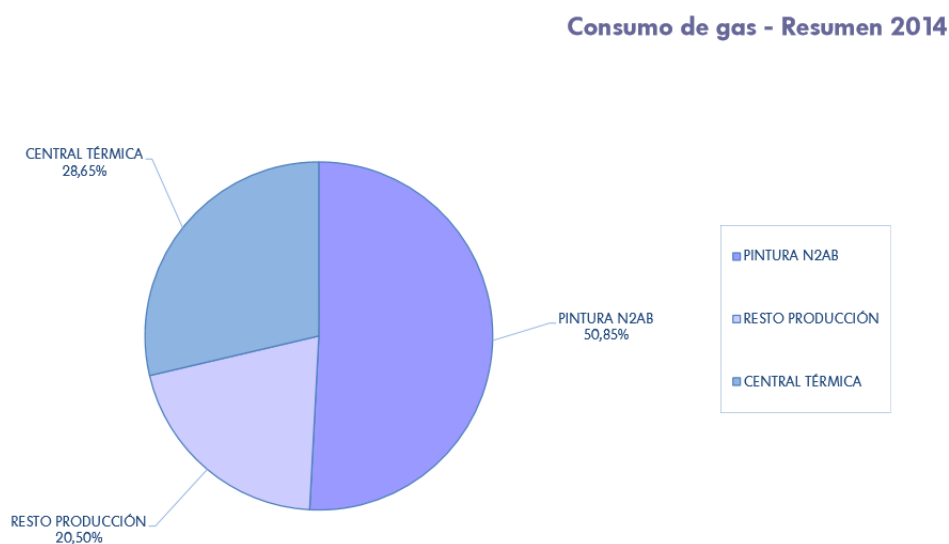
En el consumo energético de Volkswagen Navarra tanto de gas como de electricidad se observa que las instalaciones con mayor demanda son las de Pintura. Esto es lógico ya que en ella es donde las carrocerías sufren más procesos distintos, además de que los procesos mismos consumen bastante energía debido a su complejidad y tamaño: cabinas de pintura, masillas, ceras, hornos, enfriadoras...

Dentro de las instalaciones de pintura, la nave 2AB encargada de la preparación de superficies de las carrocerías y la aplicación de masillas y lacas, es la nave con mayor consumo energético, suponiendo una gran diferencia con respecto a las otras dos naves.

A continuación se muestran dos gráficos con el consumo de cada instalación de la fábrica, tanto de electricidad como de gas. Se ha escogido el año 2014 puesto que es el último año del que se dispone de los datos completos y porque en dicho año se puso en funcionamiento la nave 2C, lo que hace que los datos de consumo sean aproximados a los que habrá este año.



**Gráfica 1:** Consumo eléctrico en Volkswagen Navarra en el año 2014.



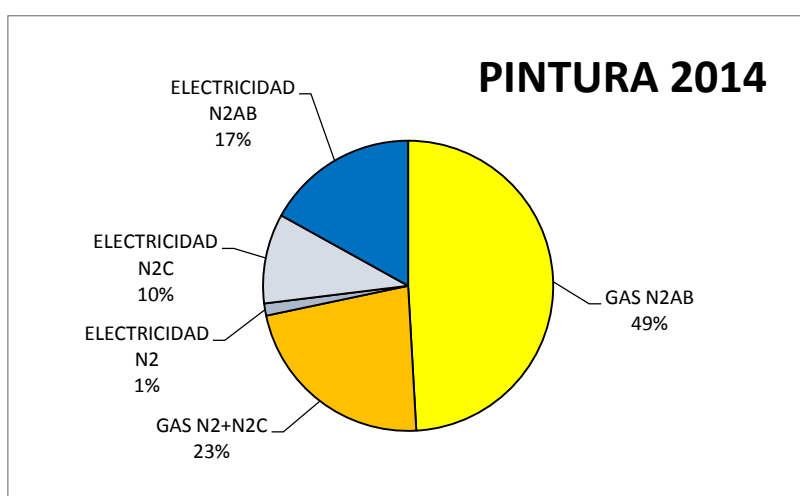
**Gráfica 2:** Consumo de gas en Volkswagen Navarra en el año 2014.

Se puede apreciar que la suma de consumos eléctricos de las instalaciones de pintura supone un total de un 43,81%, casi la mitad del consumo total de la fábrica. Mientras que el consumo de gas en pintura asciende a un 70%, un 50,85% de la nave 2AB y el resto de la nave 2C más la nave 2. Por ello es tan importante maximizar los potenciales de ahorro en los puntos más importantes de consumo de Pintura, ya que un ahorro energético ahí supone un gran ahorro en el total de consumos.

Visto esto se muestra a continuación los consumos de las tres naves de pintura de electricidad y gas de forma más particular, también del año 2014:

**Tabla 1:** Consumos totales de gas y electricidad en pintura en 2014.

GAS N2C+2	ELECT. N2C	GAS N2AB	ELECT. N2AB	ELECT. N2
38.309.445	2.296.746	83.245.599	28.719.307	16.970.807
22,6%	1,4%	49,1%	16,9%	10,0%



**Gráfica 3:** Consumos totales de gas y electricidad de pintura en el año 2014.

El mayor consumo de todos se da en la nave 2AB y a causa del gas, ya que se tienen en dicha nave 2 hornos de masillas, 2 hornos intermedios y 4 hornos de lacas, sin contar las calderas. Todo esto conlleva un gran consumo de gas y por ello ocupa el primer puesto en gasto de gas.

## 4. DESCRIPCIÓN ENERGÉTICA DE LAS NAVES DE PINTURA

En este apartado se va a realizar el estudio del consumo energético en las Naves de Pintura. Antes de analizar el consumo de cada proceso de las tres naves, se verá el consumo tanto eléctrico como de gas de cada nave y cómo han ido evolucionado desde el año 2013. Se ha escogido de referencia inicial este año puesto que los años anteriores se registran consumos muy similares y en estos tres últimos años se han registrado grandes cambios: en 2014 empieza a funcionar la nave nueva 2C y se reducen las operaciones en la nave 2, siendo este el segundo año (2011 es el que más producción tuvo) con mayor producción de coches de la historia de Volkswagen Navarra.

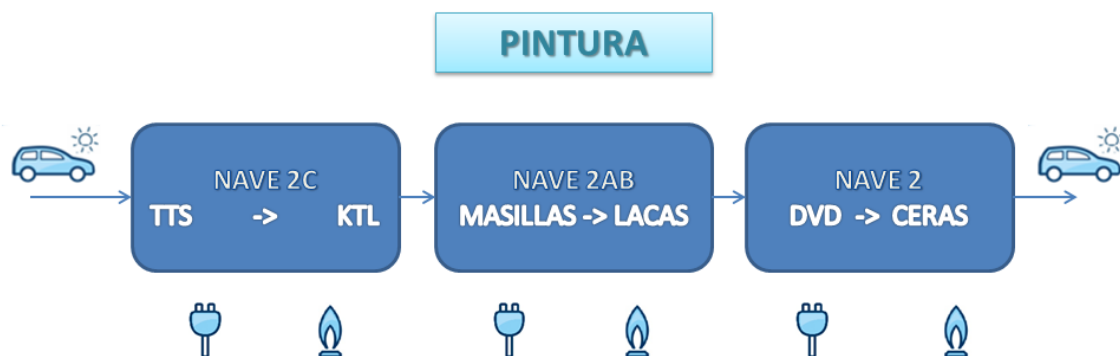
De esta forma se puede ver cómo varían los consumos en función de factores externos como: variaciones en las instalaciones, aumento o disminución de la producción, variabilidad de las temperaturas en el exterior... Además de poder tener una percepción previa sobre los valores de consumo que se van a ir tratando.

Los consumos se han recogido del SGE<sup>5</sup> (Sistema Gestión de la Energía), y estos datos son los consumos registrados por los transformadores que alimentan cada nave.

---

<sup>5</sup> SGE: Sistema de Gestión de la Energía. Programa usado en Volkswagen Navarra para almacenar y visualizar todos los datos de consumo de gas y electricidad de todas sus instalaciones.

#### 4.1. EVOLUCIÓN DE LOS CONSUMOS DE LAS TRES NAVES A LO LARGO DEL TIEMPO



**Imagen 16:** Esquema de las naves de pintura.

Para entender el flujo energético de Pintura, se va a realizar una comparativa inicial de los consumos generales de las tres naves a lo largo de los años 2013, 2014 y 2015. Con ello se podrá analizar también la evolución de dichos consumos para estudiar qué factores han hecho que éstos aumenten o disminuyan.

El modo de proceder ha sido el siguiente: se han tomado los datos diarios de los años 2013, 2014 y 2015 de las tres naves, analizando por separado los consumos en días laborables<sup>6</sup>, festivos, de parada<sup>7</sup>, de arrancada<sup>8</sup>, y se ha hecho un promedio para simplificar el estudio.

<sup>6</sup> Días laborables: los días en los que hay producción.

<sup>7</sup> Días de parada: los días de parada son todos aquellos que al haber cesado el último turno del día anterior su actividad laboral normal, se procede a poner la mayoría de las máquinas en parada para dar paso a todos los grupos de limpieza y mantenimiento que entrarán a trabajar ese mismo día y los días festivos.

<sup>8</sup> Días de arrancada: los días de arrancada son aquellos que tras cesar las labores de mantenimiento y limpieza deben poner en marcha toda la maquinaria necesaria para el desarrollo de la actividad laboral normal que empieza en el primer turno del día siguiente.

#### 4.1.1. CONSUMO ELÉCTRICO NAVE 2C

En primer lugar se verá la evolución del consumo de la nave 2C, la más reciente de las tres y que sólo lleva en funcionamiento desde 2014, por lo que no se ha podido realizar un estudio comparativo de dos años completos como mínimo, el cual sería conveniente ya que la toma de datos de consumo del presente año no tiene aún un amplio espectro de medidas tomando como referencia los datos de los primeros meses del año, lo que no ofrece mucha variedad de situaciones (efecto del entorno sobre los consumos, número de días festivos, número de días con imprevistos en los que la producción desciende considerablemente...).

Se presentan a continuación los datos de los promedios de consumo y su variación.

**Tabla 2:** Comparativa consumo eléctrico nave 2C.

PROMEDIOS	PARADA	ARRANCADA	FESTIVOS	DÍAS LABORABLES
AÑO 2014	22.045,97	26.401,99	14.994,99	65.318,46
AÑO 2015	16.097,62	20.138,16	13.247,72	63.644,26
VARIACIÓN (%)	-27,0%	-24%	-12%	-3%

Si se presta atención concretamente en los consumos de los distintos tipos de días, se aprecia que en todos se ha registrado una disminución del consumo eléctrico, pero ésta no es muy significativa por lo que no puede asociarse con ninguna medida de ahorro energético concreta, sino que se debe a la variación propia de consumos que se da en dos años distintos con condiciones de trabajos distintas.

No obstante hasta que no se registren todos los datos diarios del presente año no se podrá realizar una comprobación detallada de la evolución del consumo energético, aunque puede aventurarse que los datos no se distanciaron mucho de los del año 2014 puesto que las condiciones de trabajo son semejantes.

#### 4.1.2. CONSUMO ELÉCTRICO DE LA NAVE 2

Ahora se presenta el consumo eléctrico de la nave 2, la más antigua y la que más cambios ha sufrido, ya que en 2013 al no estar aún en funcionamiento la nave 2C toda la línea de pre-tratamiento se realizaba en esta nave, y a partir de 2014 sólo se encarga de la línea de los robots DVDs y de ceras, además de ser utilizada como pulmón de almacenamiento de carrocerías y de elementos para la nave de montaje, ya que ambas se comunican.

Los datos que permiten apreciar esta evolución son los siguientes:

**Tabla 3:** Comparativa consumo eléctrico nave 2.

PROMEDIOS	PARADA	ARRANCADA	FESTIVOS	DÍAS LABORABLES
AÑO 2013	24.024,82	24.789,42	11.678,68	56.218,84
AÑO 2014	2.744,23	3.460,77	1.883,87	8.953,66
AÑO 2015	2.978,44	4.166,68	2.381,84	9.364,96
VARIACIÓN 2013-2014 (%)	-89%	-86%	-84%	-84%
VARIACIÓN 2014-2015(%)	9%	20%	26%	5%

Del año 2013 al 2014 se aprecia una reducción del consumo en torno al 85-90% que coincide con la apertura de la nave 2C y la reducción de una importante fuente de consumo de la vieja nave. Como ya se ha citado, los procesos a los que se ha limitado la actividad de esta nave son muy pocos y su consumo es mucho menor que el que tenía antes. Se observa un incremento significativo de en torno al 20% en los días de arrancada y en los días festivos. Esto se debe a que en los días de parada y arrancada y en los días festivos, en vez de pararse la climatización en invierno como en el resto del año, se mantiene la ventilación a una cierta temperatura puesto que si no el consumo en el día de arrancada sería mayor que el consumo producido en mantener la nave templada. No obstante, esta medida también se aplicó en el año 2014 y la razón por la que haya un aumento del consumo del 20% es que sólo se han tomado datos de días de invierno de éste año, y además las temperaturas han sido más bajas que en 2014.

#### 4.1.3. CONSUMO DE GAS EN LAS NAVES 2 Y 2C

También se va a estudiar el consumo de gas, pero en este caso los datos de la nave 2 y de la nave 2C se recogen y muestran de forma conjunta, ya que los datos de consumo provienen de un contador que está instalado en la línea que alimenta ambas naves, además de un consumo residual en la N3A.

**Tabla 4:** Comparativa consumo de gas de las naves 2 y 2C.

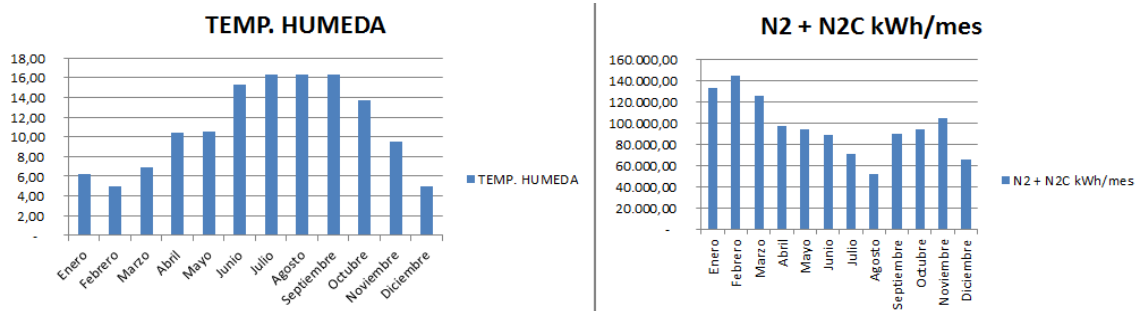
PROMEDIOS	PARADA	ARRANCADA	FESTIVOS	DÍAS LABORABLES
AÑO 2013	25.885,06	73.141,97	18.017,20	221.677,59
AÑO 2014	22.774,94	50.320,20	5.704,28	162.410,54
AÑO 2015	17.836,17	48.793,77	11.535,69	207.950,56
VARIACIÓN 2013-2014 (%)	-12%	-31%	-68%	-27%
VARIACIÓN 2014-2015(%)	-22%	-3%	102%	28%

La notable disminución del consumo de gas entre los años 2013 y 2014 tiene como causa la misma que la de la disminución del consumo eléctrico: la apertura de la nueva nave 2C con el consiguiente cierre de la línea de TTS-KTL en la nave 2.

El consumo de gas al año es inversamente proporcional a la temperatura del exterior. En época invernal se consume mayor volumen de gas puesto que el incremento de temperatura entre el exterior y el valor deseado es mayor, mientras que en verano se disminuye su consumo. Como en el año 2015 las medidas que se han tomado son las pertenecientes a principio de año, en invierno, el gasto en climatización es muy alto. Por tanto, será necesario disponer de los datos de todo el año para que la comparativa sea más proporcionada.

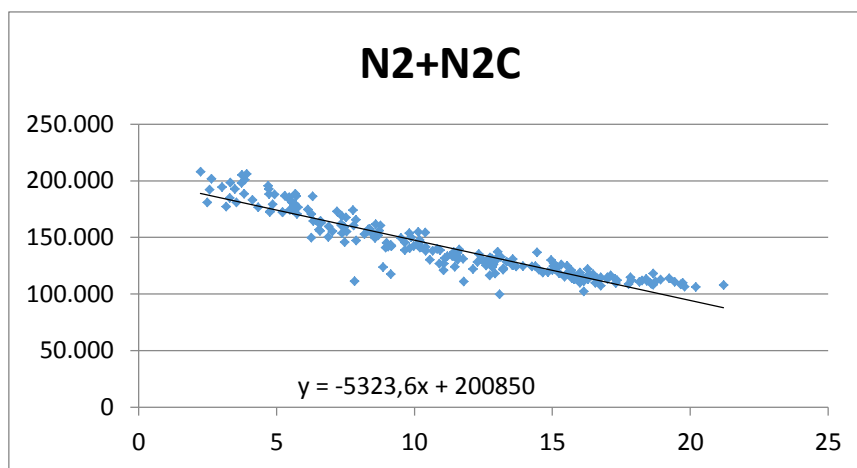
En las siguientes gráficas se puede ver con mayor claridad como disminuye el consumo de potencia de gas en las naves 2 y 2C durante los meses con temperaturas más altas:





**Imagen 17:** Consumo de gas en las naves 2 y 2C y su variación con la temperatura.

Para ver la dependencia casi lineal que hay entre el consumo de gas y la temperatura se tiene la siguiente gráfica.



**Imagen 18:** Variación del consumo de gas respecto a la temperatura en la nave 2 + 2C.

También hay que tener en cuenta que durante los días de parada y festivo las máquinas dejan de funcionar y con ellas la climatización de la nave. En concreto en la nave 2 se ha impuesto un límite inferior de 15°C C aproximadamente, es decir, la nave se dejará enfriar pero sólo hasta esa temperatura, ya que volver a calentar la nave en invierno supondría mucho gasto. Cabe destacar que en el caso de los días de festivo en verano el consumo es cero, por lo que hace bajar bastante la media de consumo.

Ahora se analizará el consumo de energía eléctrica y de gas de la nave 2AB, que es la nave que más consume de las tres ya que es la que más procesos alberga: masillas, lacas, hornos y líneas de re-trabajo (pulimento, lijado y Spot Repair).

#### 4.1.4. CONSUMO ELÉCTRICO DE LA NAVE 2AB

**Tabla 5:** Comparativa consumo eléctrico nave 2AB.

PROMEDIOS	PARADA	ARRANCADA	FESTIVOS	DÍAS LABORABLES
AÑO 2013	23.429,86	38.685,96	15.152,11	117.402,91
AÑO 2014	23.143,01	38.779,81	16.718,63	117.334,38
AÑO 2015	21.209,52	36.793,48	16.327,82	114.625,64
VARIACIÓN 2013-2014 (%)	-1%	0%	10%	0%
VARIACIÓN 2014-2015(%)	-8%	-5%	-2%	-2%

Como es la nave que menos cambios ha sufrido, es la que presenta unos consumos más similares en la comparativa de los tres años estudiados.

#### 4.1.5. CONSUMO DE GAS EN LA NAVE 2AB

Lo mismo se aprecia en los consumos de gas, al respecto de los cuales es necesario apuntar que ésta es la nave con mayor cantidad de hornos y que las cabinas de lacas necesitan de un acondicionamiento de aire que se realiza consumiendo gas para aumentar su temperatura.

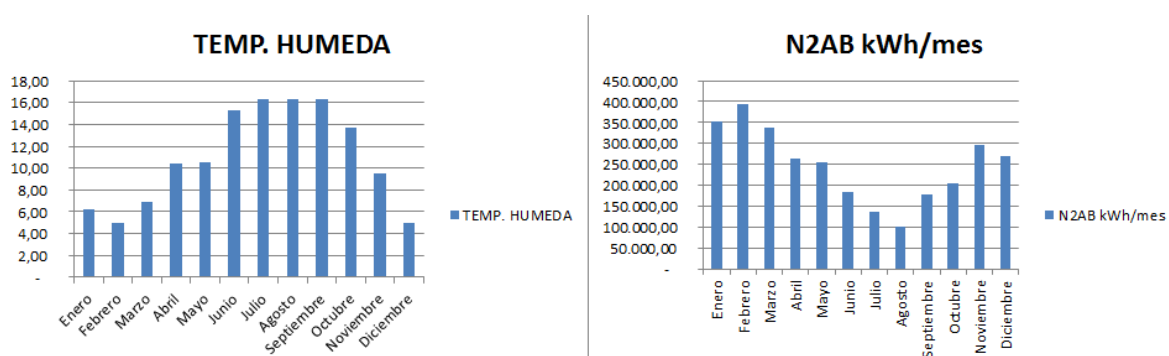
**Tabla 6:** Comparativa consumo de gas en la nave 2AB.

PROMEDIOS	PARADA	ARRANCADA	FESTIVOS	DÍAS LABORABLES
AÑO 2013	31.547,60	126.341,38	34.136,10	394.056,06
AÑO 2014	26.546,08	118.555,45	29.909,12	355.852,84
AÑO 2015	45.811,79	149.963,06	34.373,13	497.952,00
VARIACIÓN 2013-2014 (%)	-16%	-6%	-12%	-10%
VARIACIÓN 2014-2015(%)	73%	26%	15%	40%

El aumento tan grande de consumo que se ve del año 2014 al 2015 se debe a que los datos tomados del presente año son los correspondientes a los meses más fríos del año, lo cual hace que los promedios aumenten. Si se tuviese del año entero se presentaría una evolución similar a la que hay entre los años 2013 y 2014. Además en esta nave se han tomado medidas para el ahorro energético, reduciendo la temperatura de hornos y calderas hasta ajustarlas al límite necesario, disminuyendo los derroches

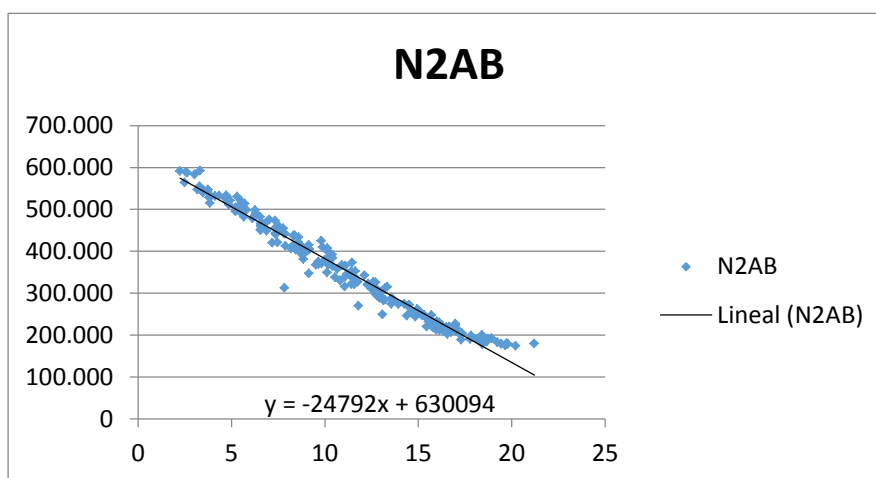
que se tenían anteriormente, por lo que se tendría que apreciar un ahorro en el consumo aún mayor.

En conclusión, para el estudio de los consumos de gas de las naves de pintura, la mejor solución es hacerlo de acuerdo a cada mes, no el total del año, puesto que de ésta forma se tendría más en cuenta las temperaturas exteriores y el estudio sería más preciso, por ello vemos en los siguientes gráficos el consumo de gas de la nave 2AB con respecto a la temperatura exterior:



**Gráfica 4:** Temperatura exterior húmeda y potencia de gas consumida en la nave 2AB.

Para comprobar que efectivamente cuanto menor es la temperatura más gas se necesita consumir, se muestra a continuación el gráfico con la variación lineal del consumo con respecto a la temperatura: a menor temperatura habrá mayor consumo.



**Imagen 19:** Variación del consumo de gas respecto a la temperatura en la nave 2AB.

#### 4.1.6. RATIOS: CONSUMO TOTAL POR CARROCERÍA FABRICADA

Un indicador de eficiencia de los procesos de Pintura es obtener los ratios de consumo total de las tres naves de pintura por coche producido. Cada dato es medido en kWh/carrocería. Se aprecia que cada año se obtiene un menor consumo por coche, lo que se traduce en un aumento de la eficiencia energética a lo largo de los años.

**Tabla 7:** Ratios del consumo total de electricidad en Pintura por coche producido.

RATIOS	ELECTRICIDAD	GAS
AÑO 2013	158,49	480,81
AÑO 2014	157,10	397,94
AÑO 2015	155,02	693,62

Cada dato se mide en kWh/carrocería entre carrocería. El consumo de gas del año 2015 sólo sería representativo al finalizar el año y recogiendo todos sus años.

## 4.2. INTRODUCCIÓN CONSUMOS

Después de ver cómo se comporta en general las naves de Pintura energéticamente, resulta de mayor interés y provecho analizar más detalladamente cada nave. Se hará una división de procesos en cada nave, de esta forma:

-Nave 2C:  $\left\{ \begin{array}{l} 1^{\circ} \text{ TTS} \\ 2^{\circ} \text{ KTL} \end{array} \right.$

-Nave 2AB:  $\left\{ \begin{array}{l} 3^{\circ} \text{ MASILLAS} \\ 4^{\circ} \text{ LACAS} \\ (4.1^{\circ} \text{ RETOQUES, sólo si fuera necesario}) \end{array} \right.$

-Nave 2:  $\left\{ \begin{array}{l} 5^{\circ} \text{ LÍNEA ROBOTS DVD} \\ 6^{\circ} \text{ CERAS} \end{array} \right.$

Así podremos analizar los flujos de energía en el mismo orden que sigue cada carrocería desde que entra desde Chapa hasta que sale hacia Montaje. Para el estudio del consumo energético de cada una de las instalaciones se dividen todos los procesos que comprenden en cuatro grupos diferentes: Procesos, Hornos, Maquinaria y Transporte. De este modo, se podrán detectar los mayores consumidores y por lo tanto, los que pueden tener un mayor potencial de ahorro.

Los datos son recogidos de tres formas distintas en función de la disponibilidad técnica de cada instalación.

La primera de ellas se realiza mediante el programa SGE que recoge los datos de 120 contadores eléctricos y 20 de gas cada 15 minutos. A partir de las mediciones de las corrientes de todos los contadores que se vuelcan en el programa en kW, se consigue monitorizar los consumos tanto de forma numérica como gráficamente y así ver su

magnitud y fluctuación a lo largo del tiempo.

La segunda, gracias a la estimación de las potencias a partir de las corrientes medidas con pinza amperimétrica<sup>9</sup>. Para poder obtener los datos en kW, se utiliza la siguiente fórmula:

$$P = \sqrt{3} * V * I * \cos\varphi;$$

Considerando el factor de potencia: FP=0,85 y la Tensión nominal: V=400(v).

En tercer lugar, en los consumidores de gas que no disponen de contador, se realiza una estimación de la potencia consumida en función de los datos nominales del quemador y tomando como referencia el comportamiento de instalaciones similares a las que se tienen datos.

Por otro lado tenemos los datos de consumo de gas que el SGE da en m<sup>3</sup>/15min, ya que el programa recoge los datos de cuantómetros<sup>10</sup>, y para poder expresarlo en términos de potencia (kW) es necesario normalizar antes el volumen consumido de gas ya que su poder calorífico viene en kWh/Nm<sup>3</sup> se tiene:

Potencia calorífica demandada por una instalación:

$$Pot_{calorífica} = Nm^3/15min * 4 * P_{CS}$$

Y para normalizarlo:

$$Nm^3 = m^3 * (P + 1) * 273/300;$$

Definiendo los términos de la ecuación:

Nm<sup>3</sup>: volumen de gas normalizado

P: presión manométrica

300: temperatura estimada del gas en el punto donde está instalado el contador.

<sup>9</sup> Amperimétrica: Medidor de la intensidad de corriente.

<sup>10</sup> Cuantómetro: Contador de velocidad para la medición de volumen de gas.

Para los hornos de KTL, de UBS, de lacas (quemadores) y para las calderas se utilizará la siguiente fórmula:

$$P = \text{Nm}^3/15\text{min} * 4 * 15\text{min}/\text{h} * P_{\text{CS}} * 3.5 * \frac{273}{303} \text{ (kW)}$$

Donde  $P_{\text{CS}}^{11}$  se obtiene:

$$\text{Pot} = \text{Nm}^3 * P_{\text{CS}} = \text{Nm}^3 * 11.6 \text{ kW}/\text{Nm}^3$$

Y nos valemos de él para saber cuánta potencia puede extraerse del volumen de gas consumido, que dependerá del tipo de gas utilizado. Para poder normalizar los valores del volumen de gas que nos dan los caudalímetros introducimos dos correcciones:

-Corrección Presiones:  $P \rightarrow 3,5$

-Corrección Temperaturas:  $T \rightarrow 273/303$

Para calcular la potencia en los incineradores de los hornos de lacas, se utiliza la misma fórmula salvo que la corrección de presiones para normalizar los valores en éste caso cambia, y quedaría de la siguiente forma:

-Corrección Presiones N2A:  $P \Rightarrow 1,14$

-Corrección Presiones N2B:  $P \Rightarrow 1,08$

Manteniéndose el resto de las correcciones y ajustes.

Este análisis detallado tiene también como objetivo localizar los procesos con mayores consumos energéticos, puesto que éstos serán el objeto de estudio para potenciar la eficiencia energética y ver qué medidas harían que se redujese su consumo energético y provocase un impacto medioambiental menor.

<sup>11</sup>  $P_{\text{CS}}$ : Poder calorífico superior.

### 4.3. CONSUMO DE LA NAVE N2C

Se empezará por la nave 2C, ya que es el inicio de todos los procesos que van a seguir las carrocerías y que por consiguiente será ahora el inicio del estudio energético. Como se ha explicado antes, se analizará el consumo tanto eléctrico como de gas.

En esta nave se le aplica el pre-tratamiento a las carrocerías, y esto se realiza en dos procesos: TTS y KTL. Primero se limpia la carrocería y se aplica tratamiento anti-corrosión en el proceso de TTS y después se le aplica la pintura de KTL.

Teniendo en cuenta esto estudiaremos el consumo energético de esta nave analizando con más detalle el consumo del proceso de TTS y de KTL.



**Imagen 20:** Nave 2C, primera nave de pintura a la que llegan las carrocerías.

#### 4.3.1. CONSUMO ELÉCTRICO:

Se empezará con la línea TTS puesto que es el primer proceso al que se somete la carrocería en su entrada en Pintura y después se estudiará el consumo de KTL.



## **NAVE 2C: TTS**

El consumo de electricidad de la línea de pre-tratamiento se presenta en la siguiente tabla:

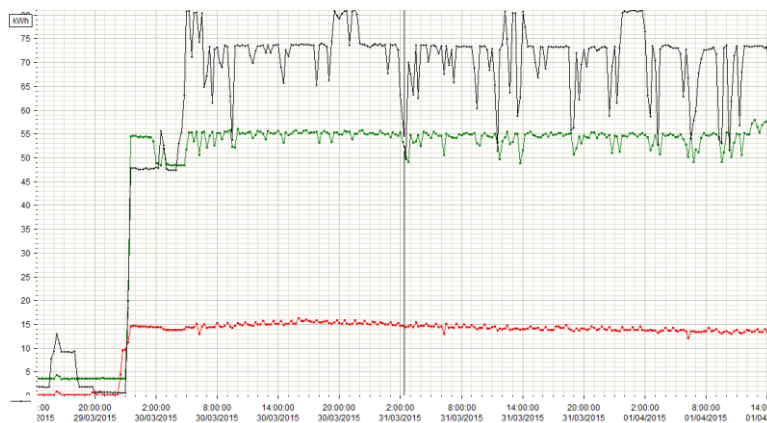
**Tabla 8:** Consumo eléctrico de TTS de la nave 2C.

CONSUMO (kWh)	TTS	CONSUMO (kW)
<b>PROCESOS</b>	136	<b>544</b>
<b>HORNOS</b>	-	-
<b>MAQUINARIA</b>	-	-
<b>TRANSPORTE</b>	3	<b>12</b>

Se analizará cada parte por separado, aunque ya vemos que no hay consumo eléctrico de hornos ni de maquinaria, sólo de procesos y transporte (RoDip). Esto se debe, como ya se sabe, a que TTS es únicamente una línea de pre-tratamiento, donde los consumos se deben al transporte de las carrocerías, las bombas de agitación de los baños, los equipos de ventilación de las zonas de trabajo y los equipos auxiliares de filtración, envío de vertidos a depuradora... todo ello perteneciente a los grupos de transporte y procesos.

### **PROCESOS:**

En procesos de TTS se incluye toda la línea de lavado, desengrase y tratamiento anti-corrosivo además de la ventilación y el alumbrado.

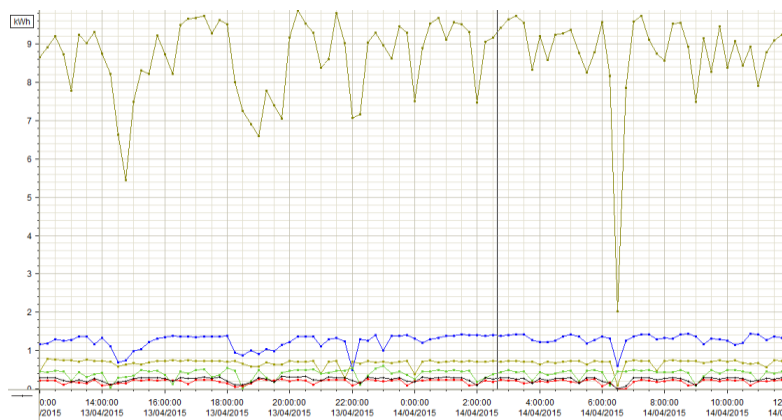


**Gráfica 5:** Consumo procesos de TTS en la nave 2C.

Cada una de las líneas (negra, verde y roja) pertenece a cada uno de los tres armarios eléctricos que alimentan la instalación de TTS, y la suma de los tres ofrece como resultado el consumo de sus procesos. Estos consumos son bastante estables ya que la agitación de los baños y la ventilación son continuas. Las variaciones son debidas a instalaciones auxiliares y a los envíos (por lotes) a depuradora.

### TRANSPORTE:

El transporte de las carrocerías en TTS se hace por medio del RoDip que va girando y trasladando la carrocería a través de los distintos baños. En la siguiente gráfica se representa los consumos de transporte:



**Gráfica 6:** Consumo transporte de TTS en la nave 2C.

La línea superior de color marrón, refleja el consumo total de transporte en la nave 2C mientras que el resto de líneas suman el consumo de transporte en TTS.

### **NAVE 2C: KTL**

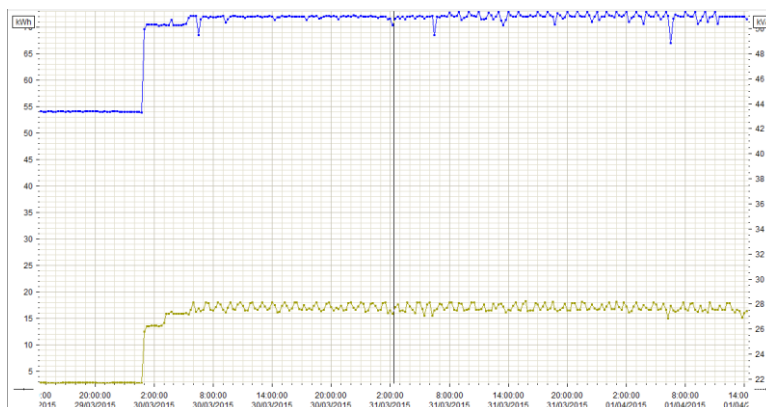
En la línea de tratamiento de KTL encontramos más procesos y un consumo total mayor que en la línea de TTS.

**Tabla 9:** Consumo eléctrico en KTL.

CONSUMO (kWh)	KTL	CONSUMO(kW)
<b>PROCESOS</b>	87	<b>348</b>
<b>HORNOS</b>	187	<b>748</b>
<b>MAQUINARIA</b>	130	<b>520</b>
<b>TRANSPORTE</b>	22	<b>24</b>

### **PROCESOS:**

El proceso de KTL comprende las bombas de recirculación de la cuba de KTL y del resto de etapas de lavado, los equipos auxiliares de ultrafiltración, anolito, refrigeración, envío a depuradora.... En comparación con el consumo del proceso de TTS, KTL consume mucho menos en esta fase, pero debido a que este proceso es menor.

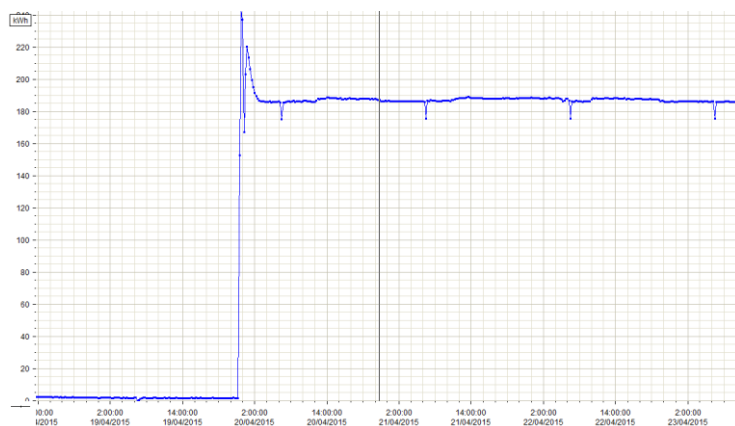


**Gráfica 7:** Consumo eléctrico del proceso de KTL en la nave 2C.

Las líneas azul y verde representan los consumos de los dos armarios eléctricos que alimentan a la instalación de KTL.

### HORNOS:

En la nave 2C los únicos hornos que tenemos están a la salida de la línea de KTL. Éstos son los más grandes de Pintura y también los que trabajan a mayor temperatura, sobre los 200°C.

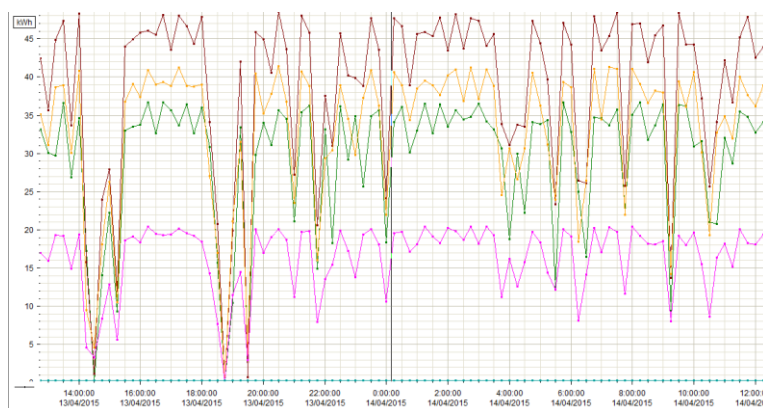


**Gráfica 8:** Consumo eléctrico de los hornos de KTL en la nave 2C.

La gráfica muestra como el consumo eléctrico de los hornos de KTL es constante en días laborables. Si hay alguna variación significativa en el consumo es debido a incidencias en la producción.

### MAQUINARIA:

En KTL se entiende por maquinaria al conjunto de rectificadores que se usan para generar la tensión continua necesaria para la aplicación de pintura por electroforesis<sup>12</sup> en la cuba de KTL.



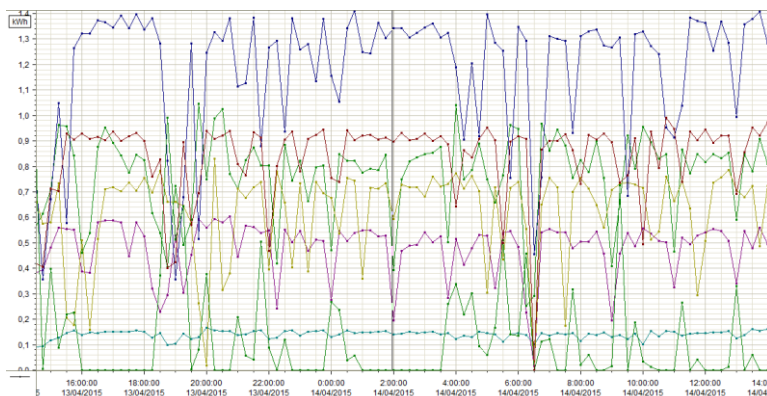
**Gráfica 9:** Consumo eléctrico de los rectificadores de KTL de la nave 2C.

Tenemos varios rectificadores en la línea de KTL tal y como se muestra en la gráfica y la suma de todos los promedios de consumo dará su consumo total asociado al consumo por maquinaria de la nave 2C. Las dependerán de la cantidad de carrocerías que haya dentro del baño.

### TRANSPORTE:

En general el transporte en KTL es como el de TTS, salvo que después de pasar las carrocerías en RoDip por los baños, se traspasan a los transportadores de suelo y se llevan a los hornos. Con el secado de los hornos las carrocerías finalizan su estancia en ésta nave y son llevadas a la entrada de la Nave 2AB.

<sup>12</sup> Electroforesis: Técnica para la separación de moléculas según la movilidad de éstas en un campo eléctrico.



**Gráfica 10:** Consumo eléctrico de transporte en KTL de la nave 2C.

Como hay distintas líneas de transporte hay varios contadores que van cuantificando el consumo, tal y como se observa en la gráfica. La suma de todos los promedios de estos consumos nos da el consumo total de transporte de la línea de KTL, que se refleja en la línea de color azul en la parte superior de la gráfica.

#### 4.3.2. CONSUMO DE GAS:

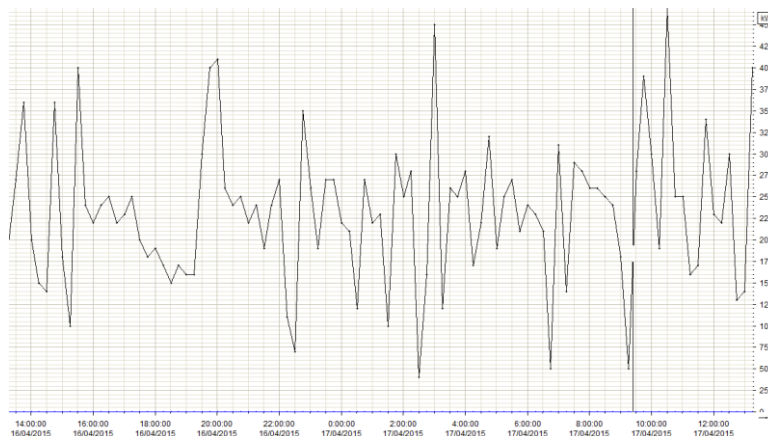
En la nave 2C el consumo de gas tiene dos funciones: por una parte el calentamiento de los baños de TTS que se realiza con ASC<sup>13</sup> suministrada desde la central térmica de la fábrica, y por otro lado, el calentamiento de los hornos de KTL.

**Tabla 10:** Consumo de gas en la nave 2C.

CONSUMO (kW)	GAS	TTS	KTL	TOTAL
PROCESOS		900	0	<b>900</b>
HORNOS		0	3510	<b>3510</b>
MAQUINARIA		0	0	<b>0</b>
TRANSPORTE		0	0	<b>0</b>

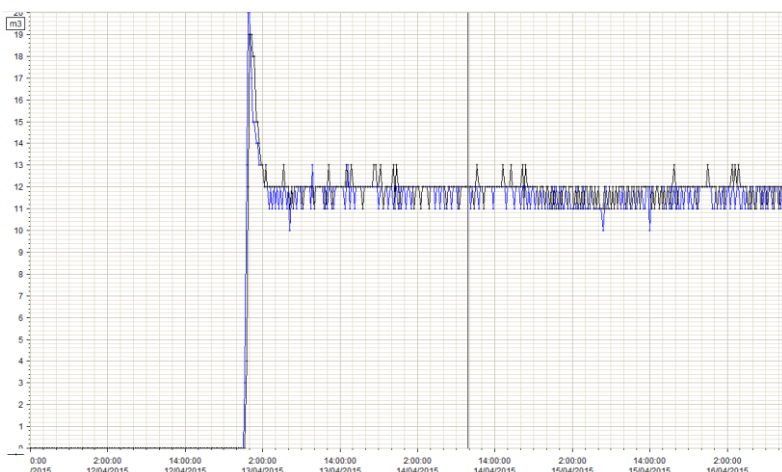
<sup>13</sup> ASC: Agua sobrecalentada.

El consumo de ASC se obtiene del programa SGE, proporcionado en kWh/15min. Se tienen bastantes fluctuaciones en la gráfica pero el promedio obtenido es de 225kWh/15min, que en términos de potencias queda 900kW.



**Gráfica 11:** Consumo de ASC en TTS en la nave 2C.

La siguiente gráfica muestra el volumen de gas consumido por los dos hornos de KTL, que es prácticamente el mismo volumen para cada uno.

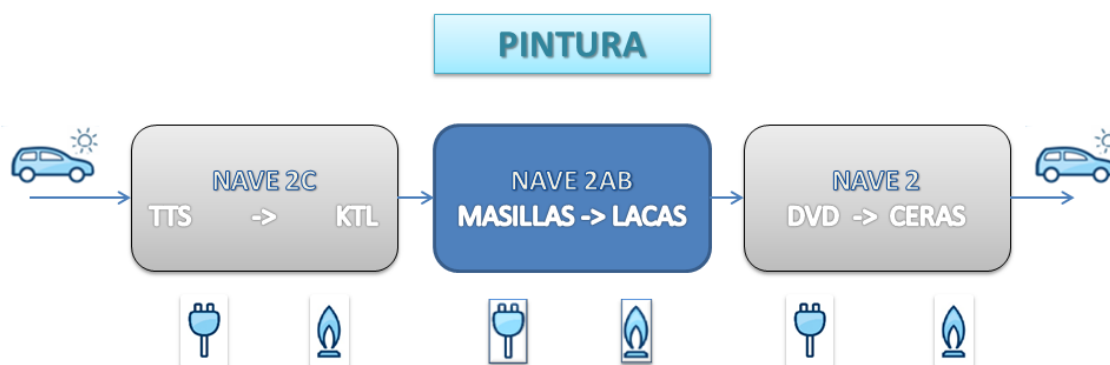


**Gráfica 12:** Consumo de gas de los hornos de KTL en la nave 2C.

La suma de los valores de ambas gráficas ofrece el consumo total de gas en los hornos reflejado en la tabla inicial, pese a que esta tabla nos muestra el consumo en m³/15min y las gráficas los metros cúbicos.

#### 4.4. CONSUMO DE LA NAVE N2AB

Las carrocerías que salen de la nave 2C llegan a esta nave donde se pueden distinguir dos procesos principales: masillas y lacas. Pero además de estos dos procesos, existe una tercera fase llamada retoques, de la que se hará uso si se necesita reparar defectos en la carrocería producidos por cualquiera de los otros dos procesos. Dentro de lacas y masillas se incluye así mismo las partes: procesos, hornos, maquinaria, masillas. Se incluyen así mismo los datos del programa SGE que muestra los valores de los contadores en kW, no como en la nave 2C que lo mide en kWh/15min. Los consumos tienen que ser muy parecidos entre ambas naves, puesto que sus procesos lo son.



**Imagen 21:** Nave 2AB, segunda nave a la que llegan las carrocerías.

##### 4.4.1. CONSUMO ELÉCTRICO:

Como ya se ha descrito, la nave 2AB se divide en dos líneas: N2A y N2B, con procesos prácticamente idénticos, por tanto se estudiarán por separado y se obtendrá el total para su análisis. De esta forma se podrá comprobar como sus consumos son semejantes.



## NAVE 2A-B: MASILLAS

Se presentan a continuación los datos recogidos en una tabla, en la que podemos apreciar la división del consumo total de masillas en: procesos, hornos, maquinaria y transporte.

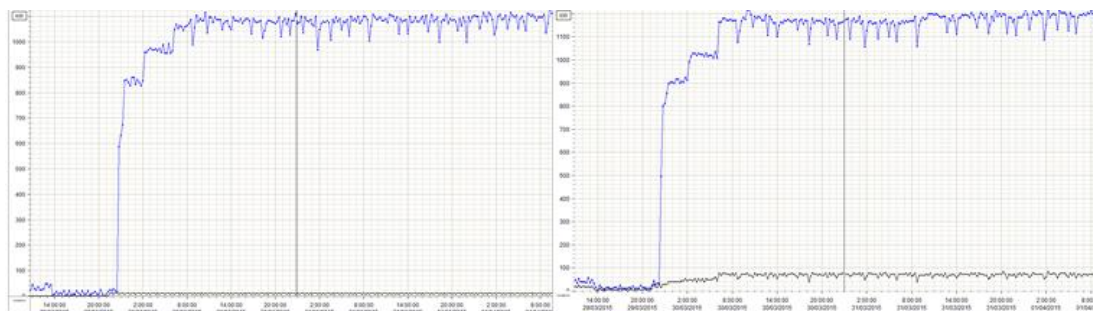
**Tabla 11:** Consumo eléctrico de la línea de masillas.

CONSUMO (kW)	MASILLAS N2A	MASILLAS N2B
<b>PROCESOS</b>	75	70
<b>HORNOS</b>	125	105
<b>MÁQUINARIA</b>	37	40
<b>TRANSPORTE</b>	26	22

### PROCESOS:

En lo que respecta a procesos (que aborda el alumbrado y la ventilación), en las gráficas se ve que el consumo de la nave 2A no se ajusta al valor reflejado en la tabla, esto se debe a que el programa no refleja el valor real de consumo ya que los contadores no enviaban bien las medidas al programa y éste se ha tenido que medir directamente a partir del armario eléctrico de la instalación. Los datos de las gráficas muestran el promedio de todos los contadores a lo largo de tres días.

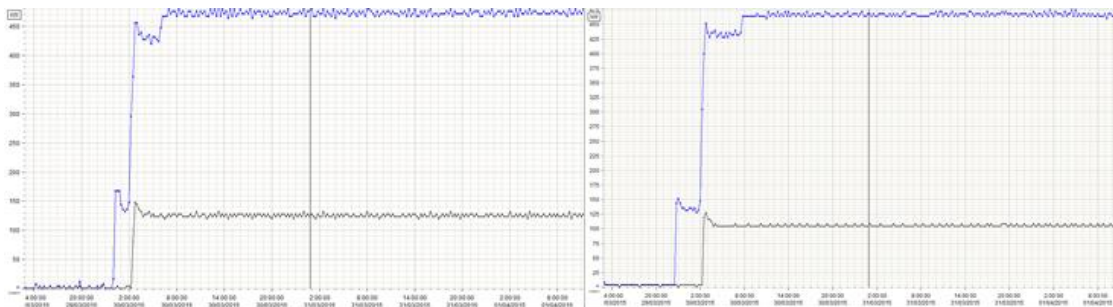
En azul se ve el consumo total de procesos de la nave y en negro el que le corresponde a la línea de masillas.



**Gráfica 13:** La gráfica de la izquierda muestra el consumo de procesos de la línea de masillas de la nave 2A y la de la derecha la de la nave 2B.

### HORNOS:

El consumo de los hornos de masillas es muy similar en ambas líneas, estos hornos son los que ofrecen un secado parcial de las masillas para que puedan manipularse sin problemas por los operarios pero que si fuera necesario se dejen retirar sin dificultad. Trabajan a una temperatura de 135°C.



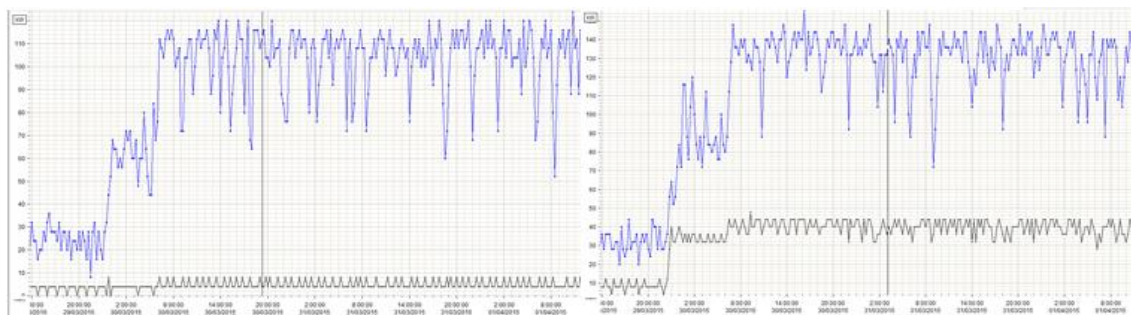
**Gráfica 14:** La gráfica de la izquierda muestra el consumo de los hornos de masillas de la nave 2 A y la de la derecha el de la nave 2 B.

Se ve en cada gráfica una línea azul que corresponde con el consumo de todos los hornos (en el de la izquierda de los hornos de la N2A y en el de la derecha de la N2B) y la línea negra es el consumo de los hornos de masillas de cada nave.

### MAQUINARIA:

La maquinaria que constituye esta línea se compone principalmente de los robots aplicadores de masilla.

Volvemos a tener un problema en la obtención de los datos de consumo del programa SGE por lo que se tuvo que tomar los datos de consumo reales de nuevo en los armarios de los robots.

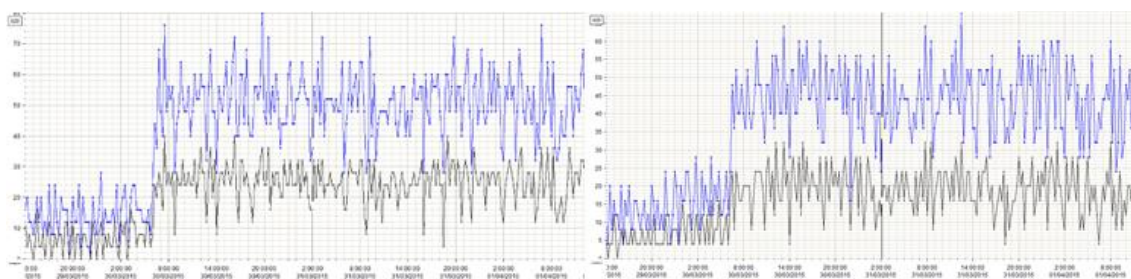


**Gráfica 15:** La gráfica de la izquierda muestra el consumo de potencia de la maquinaria de la línea de masillas de la nave 2 A y la de la izquierda de la nave 2 B.

La línea azul de cada gráfica muestra el consumo de potencia total de la maquinaria correspondiente a cada nave y la línea negra el consumo de la maquinaria de la línea de masillas. Sus fluctuaciones son debidas a que los movimientos de los robots no son constantes y permanentes en el tiempo, si no que tienen pausas desde que acaba su trabajo en una carrocería hasta que llega la siguiente.

### TRANSPORTE:

Por último se recogen los datos del consumo de transporte de carrocerías durante todo el proceso de masillas.



**Gráfica 16:** La gráfica de la izquierda muestra el consumo en el transporte de la línea de masillas de la nave 2 A y la de la izquierda de la nave 2 B.

En estas gráficas se representan los consumos de transporte de masillas de cada nave (línea negra) y el consumo total de transporte (línea azul). El elevado consumo del transporte en la zona de masillas se debe a que en la zona de aplicación de los bajos las carrocerías van montadas en unos carros que además de desplazarlas a lo largo de la

instalación la van girando para facilitar la aplicación.

### **NAVE 2A-B: LACAS**

Para el estudio energético eléctrico del proceso de lacas se procederá de la misma forma que se ha hecho con el proceso de masillas. En la tabla se presentan los valores de consumo de las distintas procesos comprendidos dentro de lacas donde no sólo se tienen las cabinas de pintura sino que también se incluyen los procesos de lija y pulido, los hornos, el transporte y la maquinaria que forma parte de todo el proceso.

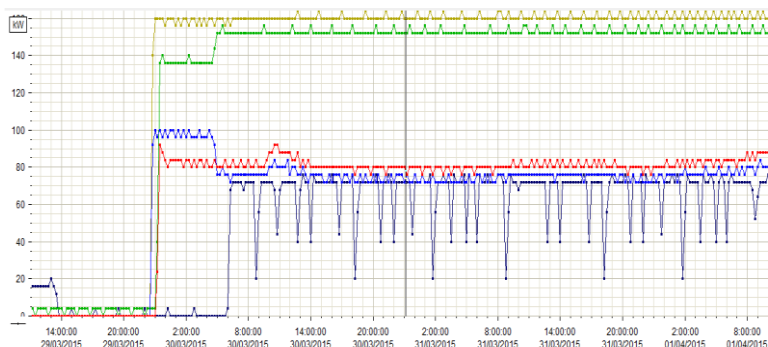
**Tabla 12:** Consumo eléctrico del proceso de lacas.

CONSUMO (kW)	LACAS N2A	LACAS N2B
<b>PROCESOS</b>	776	723
<b>HORNOS</b>	488	540
<b>MÁQUINARIA</b>	100	90
<b>TRANSPORTE</b>	25	24

### **PROCESOS:**

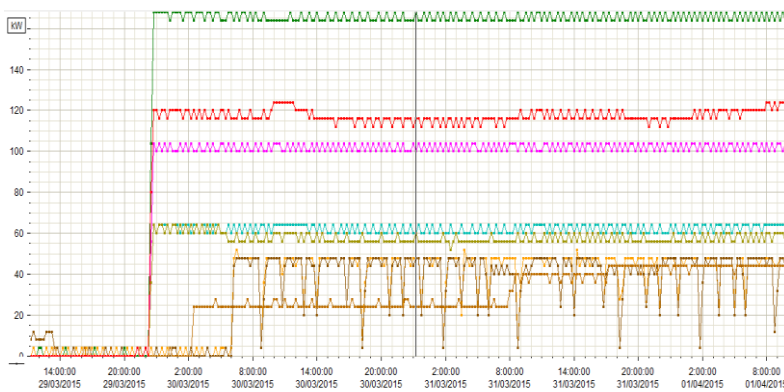
El consumo que se registra en procesos abarca el alumbrado, la ventilación y el lavado de aire de las cabinas de lacas y de las líneas de pulido y lija de preparación. No obstante, hay que tener en cuenta que la ventilación de la línea de pulido de la nave 2B no la proporciona Pintura, sino que se encarga el departamento de infraestructuras y por ello no se incluye en este análisis.

Para ver mejor los consumos de las distintas partes de procesos, se muestran las siguientes gráficas.



**Gráfica 17:** Consumo de ventilación del proceso de lacas de la nave 2 A.

Como ya se ha señalado antes, en esta gráfica se representan los consumos de la ventilación de las cabinas de pintura. Las cabinas de pintura se componen de la zona de BC y de la zona de CC, y cada una de ellas tiene ventiladores de impulsión y de extracción de aire. Para la primera zona, la de BC, se tiene que la línea roja muestra los consumos de los ventiladores de impulsión y la verde los de extracción. Y para la segunda zona, la de CC, la línea azul y la línea ocre muestran los consumos de impulsión y extracción respectivamente también.

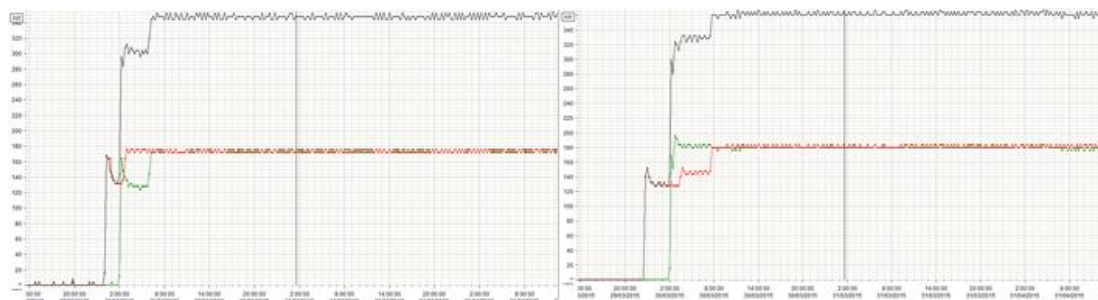


**Gráfica 18:** Consumos de ventilación del proceso de lacas de la nave 2 B.

En esta gráfica tenemos una gran cantidad de datos distintos. La línea verde representa la extracción CC, las líneas roja es impulsión de CC, la línea rosa es la extracción de BC, las líneas verde claro y azul representan el consumo de impulsión de BC (que está alimentada desde dos armarios diferentes), la línea naranja es el consumo de pulido y la línea marrón el consumo de la ventilación de lija (hay dos marrones: la más constante es ventilación y la otra alumbrado).

## HORNOS:

El consumo de los hornos de lacas es mayor que el de los hornos de masillas, y esto se debe a que comprende los hornos de secado de las lacas y de los hornos intermedios que hay a la salida de la aplicación de la BC y antes de la aplicación de la CC.



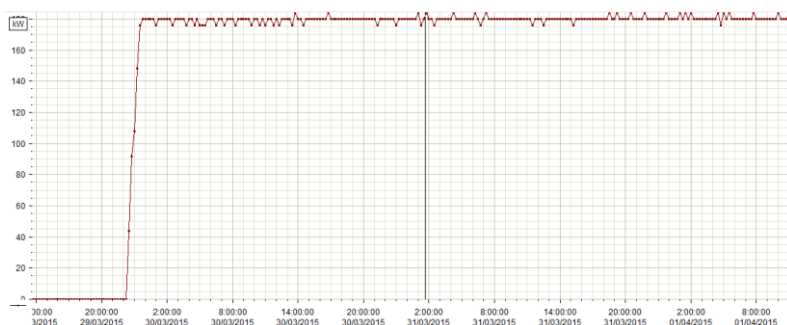
**Gráfica 19:** Consumos de los hornos de lacas de la nave 2 A (izquierda) y de la nave 2 B (derecha).

En ambas gráficas, la línea verde pertenece al horno derecho y la línea azul al horno izquierdo de cada línea. El consumo total de los hornos se representa con la línea azul, no obstante no se incluye el consumo de los hornos intermedios. Este consumo se observa en las siguientes gráficas:



**Gráfica 20:** Consumo del horno intermedio del proceso de lacas de la nave 2 A.



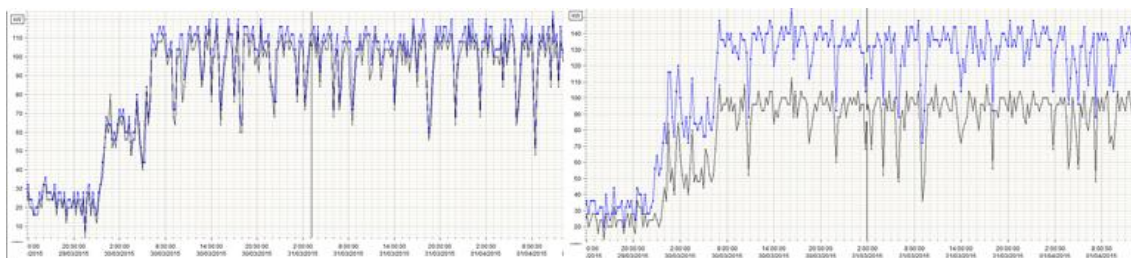


**Gráfica 21:** Consumo del horno intermedio del proceso de lacas de la nave 2 B.

No se ha podido incluir estas gráficas con las anteriores puesto que la recogida de datos en el programa se presenta de forma separada.

### MAQUINARIA:

El consumo de la maquinaria presente en este proceso corresponde casi en su totalidad a los robots y a las máquinas de limpieza Emu<sup>14</sup> que intervienen en las cabinas de lacas.



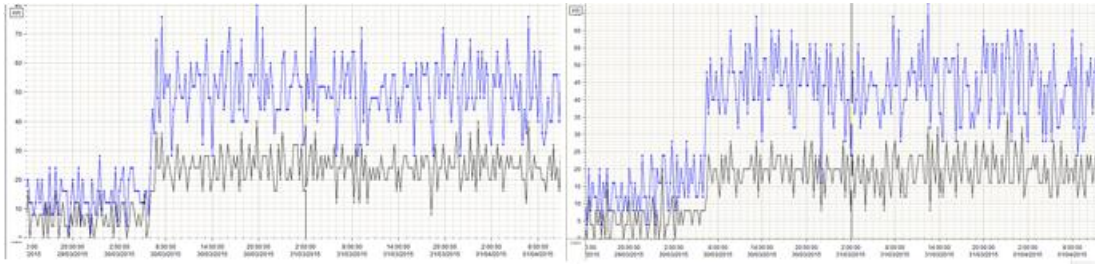
**Gráfica 22:** Consumo de la maquinaria presente en el proceso de lacas de la nave 2 A (izquierda) y de la nave 2 B (derecha).

Al estar averiado el contador de la maquinaria de la línea de masillas de la nave 2A el consumo total de toda la maquinaria de esta nave (línea azul) coincide casi con el consumo de la maquinaria de las cabinas de la misma nave (línea negra). Sin embargo en la nave 2B como no hay ningún problema con los contadores de los robots de masillas, se aprecia bien la diferencia de consumo entre la maquinaria de lacas (línea negra) y el total del consumo de la maquinaria de toda la nave 2B (línea azul).

<sup>14</sup> Emu: Son rodillos con plumas del ave emu. Son las más eficientes a la hora de recoger partículas de polvo y suciedad.

## TRANSPORTE:

El consumo del transporte de las carrocerías por todo el proceso de lacas es bastante similar al que se ha registrado en el proceso de masillas.



**Gráfica 23:** Consumo del transporte presente en el proceso de lacas de la nave 2 A (izquierda) y de la nave 2 B (derecha).

En ambas gráficas se aprecia el contraste del consumo del transporte de carrocerías de cada proceso (línea negra) y del consumo de todo el transporte realizado en cada nave (línea azul).

## NAVE 2A-B: RETOQUES

No todas las carrocerías son aptas para pasar a las cabinas de lacas o a la nave 2 para su aplicación de cera puesto que pueden tener algunos defectos: imperfecciones en la aplicación de pintura, suciedades bajo la pintura, alguna imperfección en las chapas... Para solucionarlo se les aplica un proceso de retoques en función del tipo y magnitud de su problema. El proceso de retoques comprende lijas de agua, box de chapa y Spot Repair, y su consumo se estudia en conjunto, como se muestra a continuación:

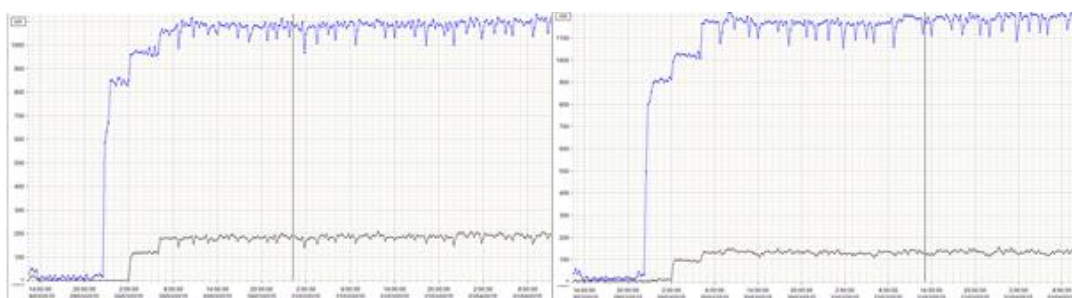


**Tabla 13:** Consumo eléctrico del proceso de retoques.

CONSUMO (kW)	RETOQUES N2A	RETOQUES N2B
<b>PROCESOS</b>	140	130
<b>HORNOS</b>	-	-
<b>MÁQUINARIA</b>	-	-
<b>TRANSPORTE</b>	6	7

### PROCESOS:

El consumo que hay de procesos se refiere al consumo generado por la ventilación y alumbrado de las instalaciones de retoques. El consumo de los retoques en la N2A es mayor porque el box de chapa está en la N2A mientras que en la N2B no hay box de chapa. En dicho lugar se realizan los retoques necesarios a la carrocería.

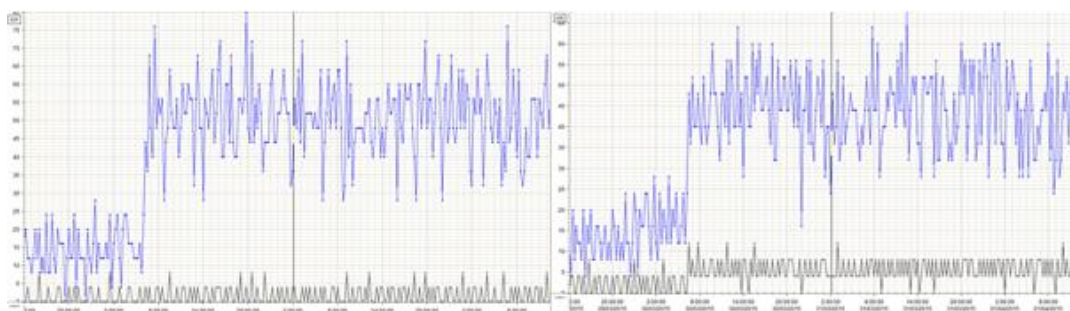


**Gráfica 24:** Consumo de ventilación en los procesos de retoques en la nave 2A (izquierda) y en la nave 2B (derecha).

Se aprecia que el consumo de total de procesos de cada nave es bastante superior al consumo que hay en los procesos de retoques, lo cual tiene sentido ya que el consumo de retoques es una parte pequeña de todo el proceso que sigue la carrocería por toda la nave. Ambos consumos, el de la N2A y el de la N2B son bastantes similares, están representados por la línea de color negro en las gráficas, mientras que el consumo de procesos total de cada nave se representa en color azul.

### TRANSPORTE:

El consumo por transporte es muy bajo ya que comprende el proceso de retoques y este es muy reducido. Hay una diferencia de 5kWh entre el consumo de la nave 2A y el de la nave 2B, lo que en proporción supone una gran diferencia.



**Gráfica 25:** Consumo del proceso de transporte en las líneas de retoques en la nave 2A (izquierda) y en la nave 2B (derecha).

La línea azul señala el consumo total de transporte de cada nave y la negra el referente al proceso de retoques. En realidad los consumos del transporte de carrocería no tienen mucha relevancia en el estudio energético ya que sus valores son muy pequeños y no afectan mucho al consumo energético total de la nave.

### NAVE 2AB: SALA DE MEZCLAS

La sala de mezclas es donde se realiza la mezcla y distribución de las lacas para las cabinas de pintura. Se encuentra en la cota 0m y no está asociada ni a la nave 2A ni a la nave 2B, ya que desde la misma sala se distribuye a cada una de ellas según la demanda.

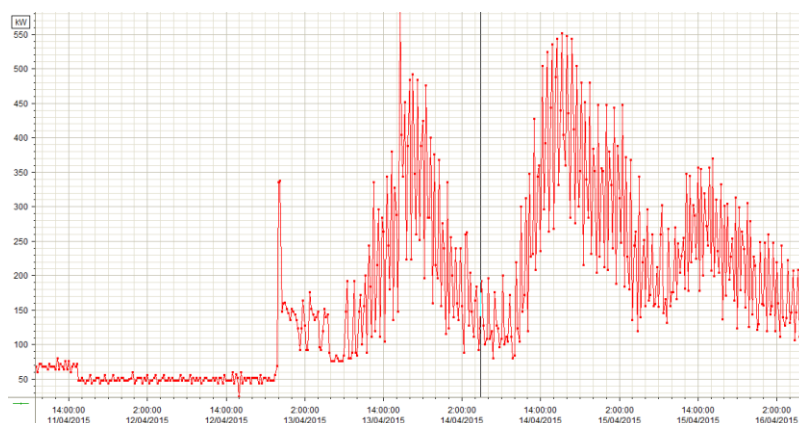
**Tabla 14:** Consumo eléctrico suministro de lacas.

CONSUMO (kW)	SALA DE MEZCLAS
SUMINISTROS	380-160

El consumo de suministros de lacas que nos da el SGE incluye además del consumo total de la sala de mezclas, el consumo de los grupos de frío y el consumo de

la distribución de disolventes.

Debido al grupo de frío los valores registrados forman una gráfica con bastante fluctuación en sus valores. Se tiene desde un promedio de valor máximo de 380 kW hasta un promedio de un valor mínimo de 160 kW. Esto se explica sabiendo que si la temperatura del aire exterior aumenta, la potencia consumida por los grupos de frío para extraer el calor de éste aumentará también.



**Gráfica 26:** Consumo eléctrico del suministro de lacas.

## **NAVE 2AB: SALA DE SILOS**

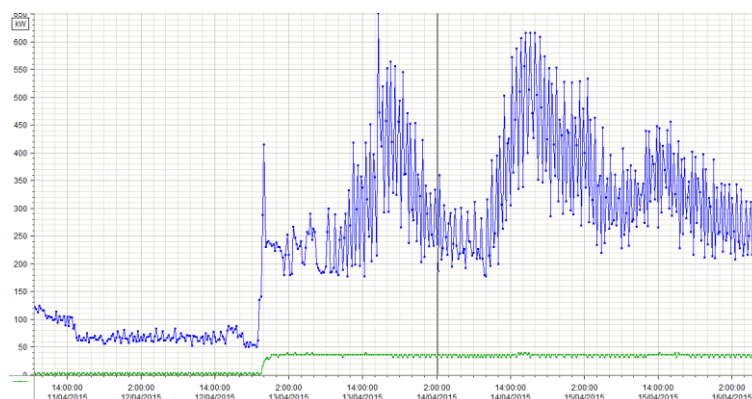
Con la sala de silos pasa igual que con la sala de mezclas. Ésta se sitúa en la cota 0m entre la nave 2A y la nave 2B y suministra la masilla por igual desde la misma sala. En la sala se destinan unos tanques de masilla con sus bombas para la distribución para cada nave, aunque los datos sobre su consumo se toman sobre el total de la sala.

**Tabla 15:** Consumo eléctrico de la sala de silos.

CONSUMO (kW)	SALA DE SILOS
SUMINISTROS	36

El valor total del suministro (línea verde) comprende el consumo del grupo hidráulico que alimenta a las bombas que impulsan la masilla. Al compararse dicho consumo con el total de suministros (línea azul) de la nave, se aprecia una gran

diferencia ya que el mayor se da en lacas.



**Gráfica 27:** Consumo eléctrico sala de silos y consumo total de suministros de la nave 2AB.

El consumo total de suministros de la nave 2AB comprende: masillas, lacas y calderas. El consumo de eléctrico de las calderas sí tiene relación con la temperatura exterior pero no tanto como el de gas. Este consumo es más constante ya que se centra más del volumen de agua caliente que tiene que mover, por lo que cuanto más agua caliente tenga que hacer circular más electricidad consumirán las calderas.

#### 4.4.2. CONSUMO DE GAS:

Esta nave es la que más gas consume debido a los hornos de secado y a las calderas. Empezando por la línea de masillas, tenemos los hornos de masillas de la nave 2A y de la nave 2B. Luego tenemos los hornos intermedios, que se encuentran después de la aplicación de la base de pintura a la carrocería, y por último los hornos de lacas que se sitúan al final del proceso completo de pintado. Los datos de los consumos de gas nos los proporciona también el SGE en volumen de gas consumido, y nos proporcionará de la misma forma el consumo de la línea de lacas y de la sala de calderas.

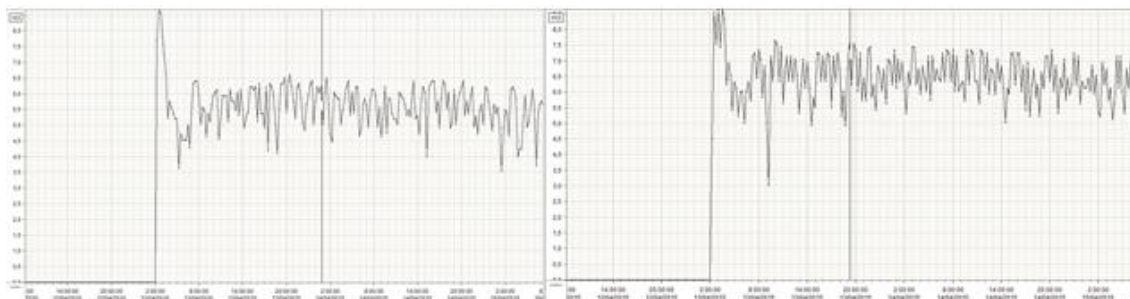
## NAVE 2AB: MASILLAS

Las potencias consumidas por los hornos de masillas se calculan, como ya se ha indicado, de la misma forma que la potencia consumida por los hornos de KTL y con los mismos factores de corrección, por tanto tras recoger los datos del volumen consumido por estos hornos se tienen los siguientes datos:

**Tabla 16:** Consumo de gas en la línea de masillas en la nave 2AB.

CONSUMO GAS (kW)	MASILLAS N2A	MASILLAS N2B
<b>HORNOS</b>	903	890

Estos datos significan que el caudal que consume un horno de masillas esta en torno a  $6 \frac{\text{m}^3}{15 \text{ min}}$ . La gráfica que nos muestra este caudal es la siguiente:



**Gráfica 28:** Consumo de gas en los hornos de masillas de la nave 2A (izquierda) y de la nave 2B (derecha).

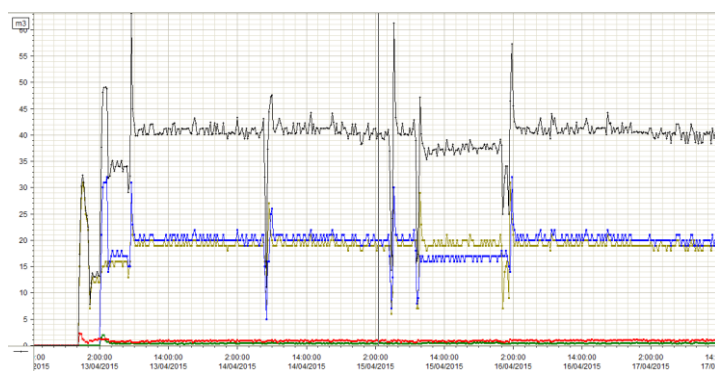
Las fluctuaciones que se aprecian son debidas a la regulación de gas que consume el horno. Por su forma de ajustar la temperatura en su interior utiliza los quemadores arrancándolos y parándolos para realizar un control más ajustado.

## NAVE 2AB: LACAS

En la línea de lacas tenemos cuatro hornos de secado de lacas. Éstos trabajan a una temperatura de entre 135-140°C por lo que su consumo de gas será mayor que el de los hornos intermedios.

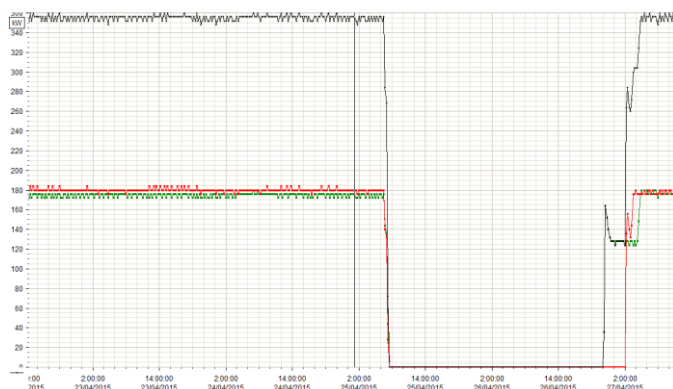
**Tabla 17:** Consumo gas en las líneas de lacas en la nave 2AB.

CONSUMO GAS (kW)	LACAS N2A	LACAS N2B
<b>HORNOS</b>	1960	2215



**Gráfica 29:** Consumo de los hornos de lacas en la nave 2A.

En la gráfica aparece en negro el total consumido por los hornos de la N2A. En el SGE, en el apartado referente a los hornos, hay que tener en cuenta que los valores de los incineradores (líneas azul y ocre) no son comparables con los de los quemadores (líneas roja y verde) puesto que no son medidos a la misma presión. Sólo serán comparables las medidas de los quemadores e incineradores entre sí.



**Gráfica 30:** Consumo de los hornos de la nave 2B.

En esta gráfica se ve los consumos de los hornos izquierdo y derecho de la nave 2B. Lo particular de éste caso es que se pararon los quemadores como medida de ahorro al no resultar necesarios para éste proceso tras bajar la velocidad de paso de la carrocería.

También sirve como ejemplo de cómo funciona el proceso de arrancada de los hornos: el día de arrancada a las 22:00pm se pone en marcha primero el horno izquierdo, posteriormente a las 2:00am se arranca el horno derecho (evitando arrancarlos a la vez se consigue ahorrar en consumo) para que así se puedan pasar las carrocerías de prueba antes del comienzo de producción.

### **NAVE 2AB: CALDERAS**

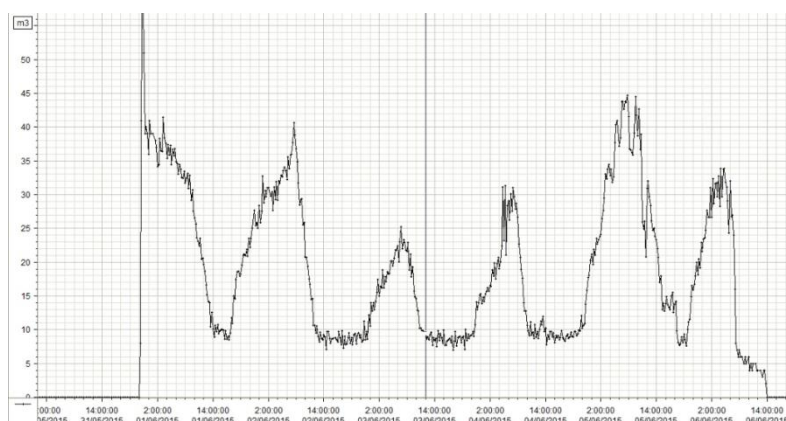
Las calderas de agua sobrecalentada (ASC) representan el mayor consumo de gas de la Nave 2AB. Generan agua a 120°C para alimentar a las baterías de calentamiento de los diferentes climatizadores que hay por las instalaciones.

**Tabla 18:** Consumo de las calderas en N2AB.

CONSUMO (kW)	CALDERAS
SUMINISTROS	800-20.000

Como puede preverse el consumo es inversamente proporcional a la temperatura exterior, por lo que en invierno el consumo es máximo (unos 20.000 kW) y en verano se reduce al mínimo (800 kW).





**Gráfica 31:** Consumo calderas nave 2AB.

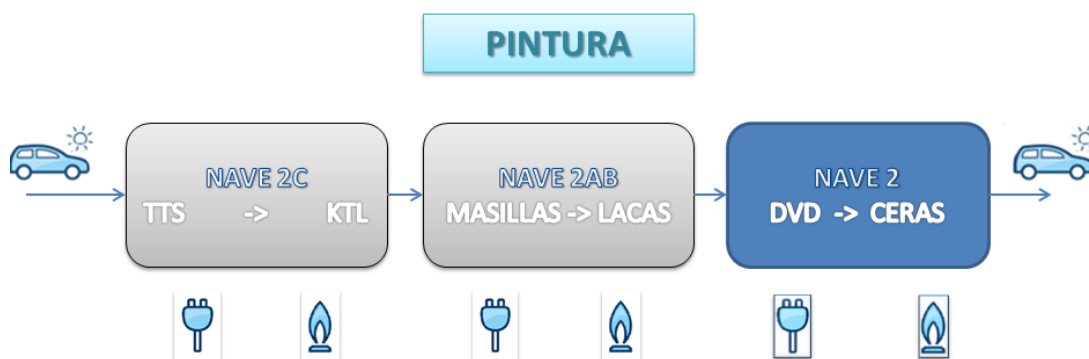
En la gráfica puede apreciarse como el consumo sigue la tendencia de la temperatura exterior, siendo máximo por la noche, y mínimo al mediodía.

#### 4.5. CONSUMO DE LA NAVE N2

Al finalizar su paso por la nave 2AB las carrocerías se llevan a la nave 2. Ésta es la tercera nave de pintura que conforma todo el proceso de pintado y tratamiento de la carrocería antes de su paso a Montaje.

Hasta el momento, todos los datos de consumo eléctrico y de gas se han obtenido a través de la realización de promedios de los datos proporcionados por el programa SGE, sin embargo los contadores de la nave 2 (son los contadores de las naves los que proporcionan la información que se obtiene en el SGE como ya se había indicado anteriormente) no están conectados con la intranet y por lo tanto no se dispone de ellos.





**Imagen 22:** Nave 2, tercera nave a la que llegan las carrocerías.

#### 4.5.1. CONSUMO ELECTRICO:

Para poder hacer el estudio de consumos de esta nave, se ha tenido que coger los datos directamente de los armarios eléctricos de cada instalación. Para la adquisición de los datos de consumo eléctrico, se recogen directamente de los contadores situados en dichos armarios, y también donde no hay contadores por medio de una pinza amperimétrica midiendo una de las fases y luego efectuando el cálculo de la potencia eléctrica consumida. El cálculo de las potencias activas se realiza con la siguiente fórmula:

$$P = \sqrt{3} * V * I * \cos(\varphi) = \sqrt{3} * 400(v) * I(A) * 0.85$$

Se supone un factor de potencia de valor 0,85 para todas las instalaciones, y una tensión de 400 voltios para todas las líneas, proporcionada por los trafos situados en la nave que se encargan de pasar de media a baja tensión la electricidad que llega a la fábrica, manteniéndola a una frecuencia de 50Hz.

**Tabla 19:** Consumo eléctrico de la nave 2.

CONSUMO (kW)	CERAS	SUMINISTROS	TOTAL
<b>PROCESOS</b>	88	64	152
<b>HORNOS</b>	75	0	76
<b>MAQUINARIA</b>	6	0	6
<b>TRANSPORTE</b>	10	0	10

## **NAVE 2: CERAS**

### **PROCESOS:**

La suma de las potencias de todas las instalaciones de ventilación da un consumo de 88kW. Éstas se han calculado a partir de la medición con la pinza de 150 (A) en una de las líneas del armario de la instalación.

### **HORNOS:**

En ceras hay dos hornos, cada uno consume una corriente de 56 y 55 amperios. De cada uno se obtiene una potencia de 33kW y 32kW lo que nos da una potencia total de 65kW.

### **MAQUINARIA:**

La maquinaria que se tiene en cuenta en este apartado consta de dos instalaciones de robots: los DVDs y los robots de aplicación de cera fría. Como las líneas de aplicación de cera fría y de colocación de DVDs son cortas, el consumo total

de la maquinaria es muy pequeño si se compara al de las otras naves.

### TRANSPORTE:

El transporte de ceras no sólo consta de la entrada por el túnel que conecta la nave 2AB con la 2, de los transportes por las líneas de DVDs y de cera fría y en las cabinas de cera caliente, sino que hay que tener en cuenta que esta nave también sirve como un pulmón de carrocerías y éstas se envían al taller de montaje desde la nave N2.

### NAVE 2: SUMINISTROS

#### SUMINISTROS:

Dentro de suministros se incluye la sala de calderas y la sala de cubas. En la sala de calderas hay dos calderas de aceite térmico, que generan aceite a 160°C para calentar la cera, y las bombas que mantienen el aceite en circulación. En la sala de cubas, están las cubas que contienen la cera fundida y las bombas que la distribuyen por la instalación de ceras. El consumo de la sala de calderas es de 10 kW, y el de la sala de cubas de 64 kW.

#### 4.5.2. CONSUMO DE GAS:

En la nave 2 se encuentra dos consumidores principales de gas: los hornos de precalentamiento de las carrocerías antes de la aplicación de la cera y las calderas de aceite térmico que calientan el aceite a 160°C para mantener la temperatura de la cera a 120°C.

Las instalaciones de la nave 2 no disponen de cuantómetros para el consumo de gas así que este se estima en base a la potencia nominal indicada en la placa de los diferentes quemadores y asignando a cada elemento un porcentaje de uso en base a las instalaciones similares que hay en Pintura. La potencia nominal indicada es: 700kW.

**Tabla 20:** Consumo de gas en la nave 2C.

CONSUMO (kW)	CERAS	SUMINISTROS	TOTAL
PROCESOS	0	872	872
HORNOS	840	0	840

##### HORNOS:

El consumo total de los dos hornos de ceras es de 840 kW ya que se ha supuesto un porcentaje de uso del 60%.

##### SUMINISTROS:

En la nave 2 se tienen dos calderas para el proceso de ceras, aunque sólo se usa una de ellas. La potencia máxima de trabajo es de 1744 kW y se ha supuesto un porcentaje de uso del 50%, por lo que se tiene una potencia útil de 872 kW.

#### 4.6. CONCLUSIONES CONSUMOS ENERGÉTICOS

A modo de resumen se muestran los consumos totales de todos los procesos de cada nave. Al reunir estos valores se destacan los más altos, ya que serán el punto de partida de la segunda parte de éste trabajo.

Tras localizar los puntos de consumo más elevados, tanto de gas como de electricidad, se estudiará la posibilidad de aplicar alguna medida de ahorro para reducirlos y así incrementar la eficiencia energética de las instalaciones de Pintura.

**Tabla 21:** Consumo energético de las instalaciones de Pintura.

CONSUMO (kW)	ELÉCTRICO			GAS		
	N2C	N2AB	N2	N2C	N2AB	N2
PROCESOS	892	2.215	152	900	10.000	872
HORNOS	748	1.258	76	3.510	5.968	840
MAQUINARIA	520	270	6	0	0	0
TRANSPORTE	36	111	10	0	0	0

De todos los consumos se han destacado los más altos, que son los relacionados con procesos y con hornos, sobre todo los producidos en la nave 2AB. Se consideran un punto ideal para el estudio de los potenciales de ahorro de las instalaciones al ser los procesos donde más se podrá actuar para conseguir reducir las cifras de consumo y así cumplir con el objetivo Think Blue.

## 5. POTENCIALES DE AHORRO

### 5.1. INTRODUCCIÓN

En este apartado se estudiarán los puntos con mayor potencial de ahorro y las propuestas para disminuir el consumo eléctrico y de gas. Como se ha visto en el apartado anterior, tanto en procesos como en hornos es donde se produce el mayor gasto de electricidad y de gas y por lo tanto, donde presumiblemente se encontrarán los mayores potenciales de ahorro.

En procesos, los puntos más significativos en los que hay que fijarse son la ventilación y las bombas de agua de la zona del ESKA.

- La *ventilación* se compone de los grupos de impulsión de aire o también llamados ZLA, (ZuLuft Anlage) y los equipos de extracción de aire o ALA (AbLuft Anlage).

Los ZLA toman el aire del exterior, lo filtran, lo calientan, lo humectan y lo conducen verticalmente a las cabinas de pintura a una velocidad y presión determinada para que arrastre las partículas de pintura que dejan los robots en el aire al pintar y pueden generar suciedades. El aire que ha circulado por las cabinas y después se ha limpiado en el lavador de aire, se expulsa al exterior de nuevo (aún contendrá partículas de pintura en un bajo porcentaje, por lo que no puede ser reutilizado) por medio de un ventilador de extracción.

En su conjunto todo lo que comprende mover el caudal de aire supone un gasto eléctrico y todo lo que supone incrementar la temperatura del aire conlleva un gasto de gas.

- Las *bombas* se encargan de recircular el agua del lavador de aire que hay en la parte inferior de las cabinas, que se encarga de retener la mayor cantidad de pintura del aire que ha pasado por las cabinas.

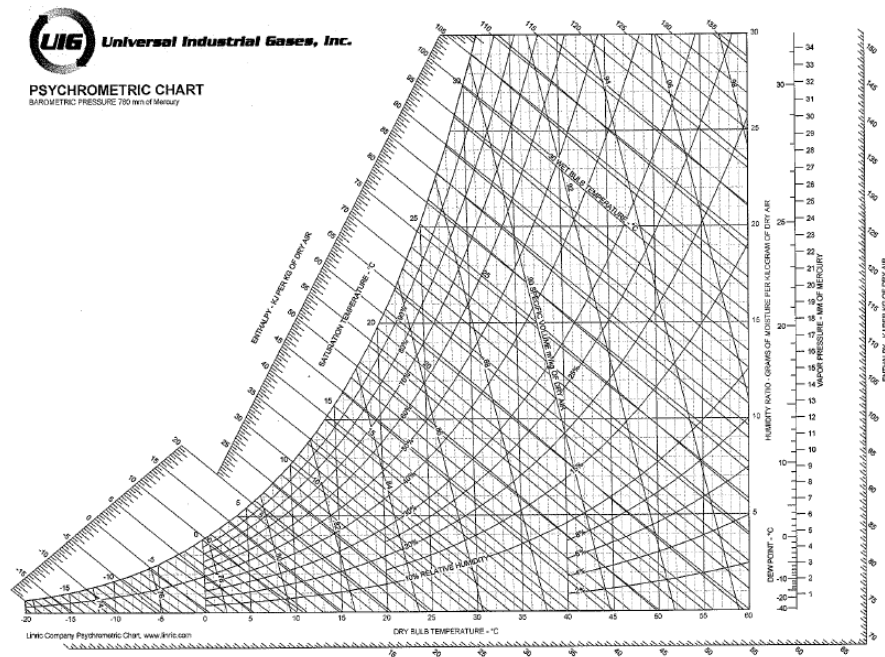
En hornos, su consumo se debe al calentamiento del aire y a la recirculación y renovación de éste, es decir, tendremos consumo eléctrico para el movimiento del fluido y de gas para su calentamiento.

A continuación se va a ver más detalladamente el funcionamiento de estos puntos de mayor consumo y sus potenciales de ahorro.

## 5.2. PROCESOS

### 5.2.1. VENTILACIÓN

Se tomará un caudal tipo de 100.000 m<sup>3</sup>/h y unas condiciones estándar ambientales medias de la ciudad de Pamplona, que son la temperatura media de 12°C y con una humedad relativa del 70%, y con ello se realizará el cálculo de la demanda energética del sistema de ventilación de las cabinas de pintura. En dichas cabinas el caudal de aire proporcionado por el ZLA debe cumplir las condiciones de 22°C y un 60% de humedad relativa. La energía necesaria para el calentamiento del aire (gas empleado para el incremento de temperatura) se determina a partir del diagrama psicométrico siguiente:



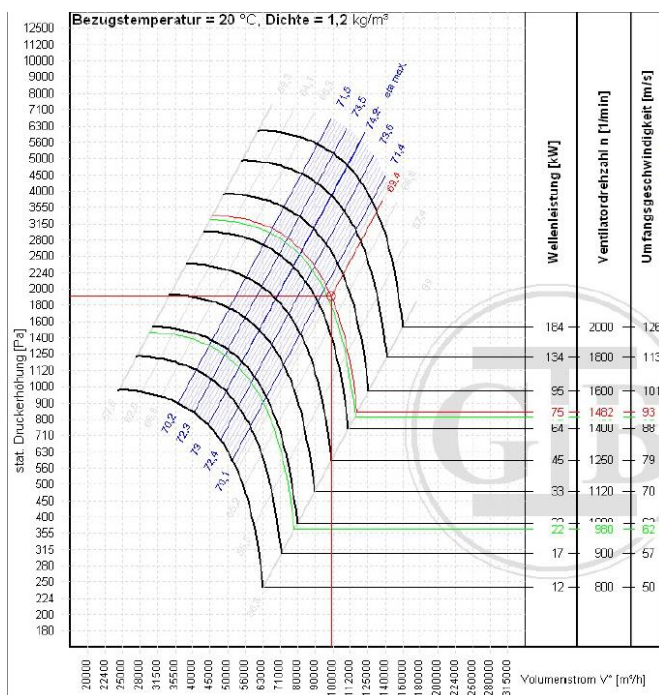
Gráfica 32: Diagrama psicrométrico.

De éste diagrama se puede obtener el valor de las entalpías a la entrada y a la salida necesarias para el cálculo de la potencia gas requerida para el calentamiento del caudal. Dichos valores son 27,5 kJ/kg y 47,45 kJ/kg.

$$\text{Pot}_{\text{gas}} = \Delta \text{Entalpía} * \dot{Q} = (27,5 - 47,45) * 100.000 * 1,2/3600 = \mathbf{665(kW)}$$

En lo que respecta a la energía necesaria para poner en movimiento el caudal de aire que se está estudiando, se hace uso de la curva característica del ventilador que se ve a continuación:





**Imagen 23:** Curva característica del ventilador.

De ella se obtiene que la presión generada (las cabinas tienen que estar sobrepresionadas para asegurar que el caudal de aire arrastre el mayor porcentaje de partículas de pintura en su viaje desde la parte superior de la cabina hasta la inferior) es de 1,530Pa y con un rendimiento mecánico del ventilador del 65%. Ahora se puede sacar la potencia eléctrica consumida por el ventilador:

$$Pot_{elec} = P * \frac{\dot{Q}}{\eta} = 1.530 * \frac{100.000}{3.600 * 0,65} = 65,4(kW)$$

El consumo de los ventiladores de extracción será muy similar a los de impulsión. Las características del aire de extracción son: 18°C de temperatura y 85% de humedad relativa. Como las condiciones de operación de ambos extractores son las mismas la potencia consumida será similar, por lo que sería 65 kW de potencia eléctrica consumida en los ventiladores de extracción.

Entonces sabiendo ya la potencia consumida para un caudal tipo, se extrapola a los 8 equipos instalados en las cabinas de pintado: 1.544.000m³/h en total, contando la

ventilación de la Emu. Esto lleva a la obtención de la potencia total de consumo eléctrico de los ventiladores:

$$\text{Pot}_{\text{elect}} = 1010(\text{kW})$$

$$\text{Pot}_{\text{gas}} = 9.975(\text{kW})$$

Viendo este consumo de potencia se comprueba su potencial de ahorro, siendo sus posibilidades las siguientes:

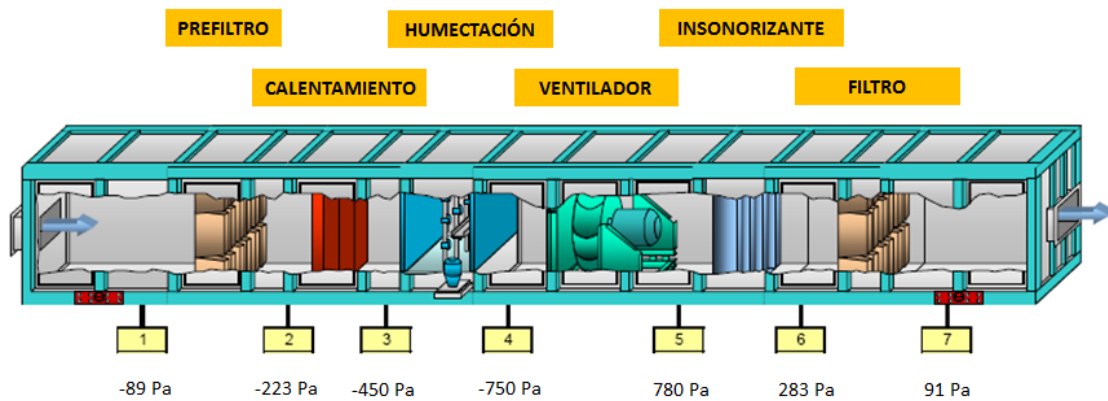
- Reducir el caudal de aire impulsado.
- Reducir la temperatura del aire de proceso por debajo de los 22°C.
- Reducir la humedad del aire de proceso por debajo del 60%.
- Recuperar energía del caudal de aire que se expulsa al exterior a través de la extracción.

En la siguiente tabla se recogen todos los datos extraídos de los diagramas y de las propiedades del aire para el ejemplo del caudal de 100.000m<sup>3</sup>/h:

**Tabla 22:** Recopilación de datos de las características de un ZLA, tomando como referencia un caudal de 100.000 m<sup>3</sup>/h

CALENTAMIENTO	TEMPERATURA(°C)	HUMEDAD (%)	ENTALPÍA	CAUDAL (m <sup>3</sup> /h)	POTENCIA (kW)
ENRADA	12	70	27,50		
SALIDA	22	60	47,45		
POTENCIA (GAS)				100.000	<b>665</b>
VENTILADOR	PRESIÓN (Pa)	EFICIENCIA (%)		CAUDAL (m <sup>3</sup> /h)	POTENCIA (kW)
ENTRADA	-750				
SALIDA	780				
POTENCIA (ELECT.)		65		100.000	<b>65</b>

A continuación se muestra el esquema de un ZLA con sus distintas fases (filtrado, humectación, etc.) y las presiones en cada punto del mismo.



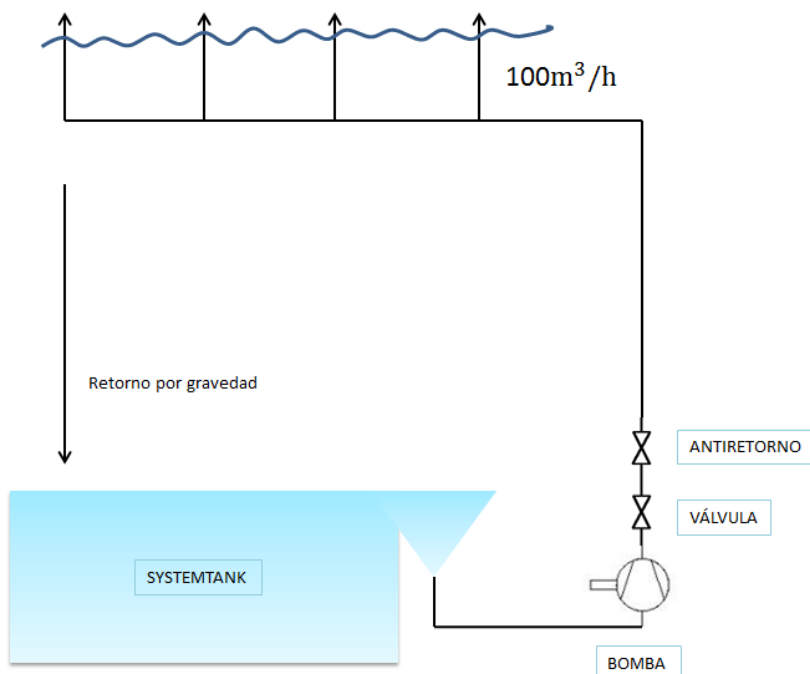
**Imagen 24:** Esquema de un ZLA.

Por tanto el volumen total de aire que se calienta para su uso en cabinas es de aproximadamente 1,55 millones de metros cúbicos por hora.

### 5.2.2. BOMBAS-ESKA

Las bombas objeto de estudio son las encargadas de la circulación del agua perteneciente al lavador de aire de las cabinas de pinturas. Dicho aire desciende verticalmente en las cabinas de pintura y arrastra los restos de pintura pulverizada que no alcanza la carrocería. Cuando llega a la parte inferior de estas se cruza con un circuito de agua en movimiento, que gracias a su diseño separa las partículas de pintura del aire y estas quedan atrapadas en el agua hasta que a dicho agua se le aplican los tratamientos precisos para depurarla y separar de ella los restos de pintura que ha retenido. El agua de estos lavadores sigue un circuito cerrado, por lo que no se estudiará el consumo de caudal de agua sino la potencia necesaria para mover dicho caudal.

Se usan cuatro bombas por cada una de las cuatro cabinas de pintado, por lo que una optimización de su uso supondría una reducción del consumo considerable. La potencia de las bombas se ha sacado a partir de sus placas de identificación y de su hoja de características.



**Imagen 25:** Esquema funcionamiento bombas en el ESKA.

El tipo de bombas utilizadas es NM-150/250B con una capacidad de caudal de 396 m<sup>3</sup>/h a 15,1 m (altura de impulsión). La instalación en cada cabina está formada por un depósito de 130 m<sup>3</sup>, 4 bombas de recirculación, un anti-retorno a la salida de cada una, y posteriormente una red de tuberías que distribuye los 1600 m<sup>3</sup>/h de agua a lo largo de la cabina a una altura de 6 metros por encima de las bombas.

Con estos datos, tenemos que la presión que tienen que vencer las bombas es de unos 8 metros de columna de agua (6 de la altura física a la que tiene que elevar el agua, y otros 2 por las pérdidas de carga de la red de tuberías y el anti-retorno).

De la placa de características de la bomba, se tiene que la bomba desplaza los 400 m<sup>3</sup>/h que se necesitan cuando tiene una presión a la salida de 15 m. Por lo tanto, se tiene que la instalación cuando circulan 1.600 m<sup>3</sup>/h (400 m<sup>3</sup>/h por bomba) tiene una pérdida de carga de 8 m, y las bombas necesitan 15 m. para desplazar esos 400 m<sup>3</sup>/h.

La forma más sencilla de eliminar esta diferencia es modificar la curva de la instalación “generando” una pérdida de carga adicional de 7 m lo que se consigue estrangulando la válvula de salida de la bomba.

La potencia final que se tiene con las dieciséis bombas pertenecientes a la nave 2A y 2B (cabinas de lacas de BC y CC) es de:

$$\begin{aligned} \text{Pot}_{\text{total}} &= n^{\circ}\text{bombas} * P * \dot{Q} = 16 * 150.000(\text{Pa}) * \frac{400 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)}{3.600 \left(\frac{\text{s}}{\text{h}}\right)} \\ &= 16 * 16,6(\text{kW}) \xrightarrow{\eta=70\%} \text{Pot}_{\text{total neta eje}} = \frac{265,6}{0,7} = \mathbf{379,42 \text{ (kW)}} \end{aligned}$$

La potencia total eléctrica consumida por las bombas del ESKA es de 379,42 kW, y teniendo en cuenta que la potencia instalada está sobredimensionada, resulta un punto interesante de estudio como potencial de ahorro puesto que se podría hacer algo para ajustar la potencia de las bombas a los requisitos de la instalación y así reducir el consumo.

Existe una opción más eficiente para ajustar las características de la bomba y la instalación. En vez de modificar las características de la instalación estrangulando la salida de la bomba, se puede modificar la curva de la bomba reduciendo su velocidad por medio de un variador de frecuencia.

### 5.3. HORNOS

En un horno se pueden encontrar tres flujos de aire distintos: la convección interna del horno (aire recirculado), la renovación del aire del horno con aire del exterior y la recirculación del aire del enfriador. El caudal de recirculación interno del horno facilita la distribución de calor uniforme en su interior. El caudal de renovación evita que se sature el aire de recirculación de humedad. En el enfriador su caudal de recirculación hace que las carrocerías salgan del horno a una temperatura suficientemente baja para que puedan ser manipuladas por los operarios que las revisan en pulido.

Hay que hacer distinción entre los hornos intermedios y el resto de hornos puesto que los primeros se basan en un incremento menor de temperatura en el caudal de aire (temperatura de salida 48°C) y una extracción mayor de la humedad (humedad de salida 2gr/kg) del caudal entrante. El caudal total de los hornos intermedios tanto de recirculación como de renovación es 476.000 m<sup>3</sup>/h. Para que estos hornos puedan secar la carrocería de forma eficiente se le extrae al caudal de aire de renovación un alto porcentaje de humedad, puesto que de esta forma al ser aire caliente y seco absorberá grandes porcentajes de la humedad de la pintura de la carrocería, logrando así su secado.

En el resto de hornos la técnica de secado se basa en aumentar mucho la temperatura del caudal de aire de entrada, de 135°C a 200°C, sin necesidad de extraerle la humedad al principio. Al calentarse tanto el aire, sus átomos se expanden y es capaz de aumentar el porcentaje de humedad que absorbe. El conjunto de hornos de lacas tiene un caudal total de 3.009.000 m<sup>3</sup>/h.

El trabajo del caudal de recirculación del enfriador es similar al del horno sólo que en este caso tiene que mantener una baja temperatura y su movimiento de

convección tiene como objetivo absorber el calor de la carrocería.

El caudal total de aire de renovación es de 165.000 Nm<sup>3</sup>/h, supone un consumo de gas elevado, ya que hay que calentarlo desde la temperatura ambiente hasta la temperatura del interior del horno. Al devolverse el aire renovado a la atmósfera se hace con la temperatura y nivel de humedad con el que sale del horno, y esto es algo que se puede aprovechar.

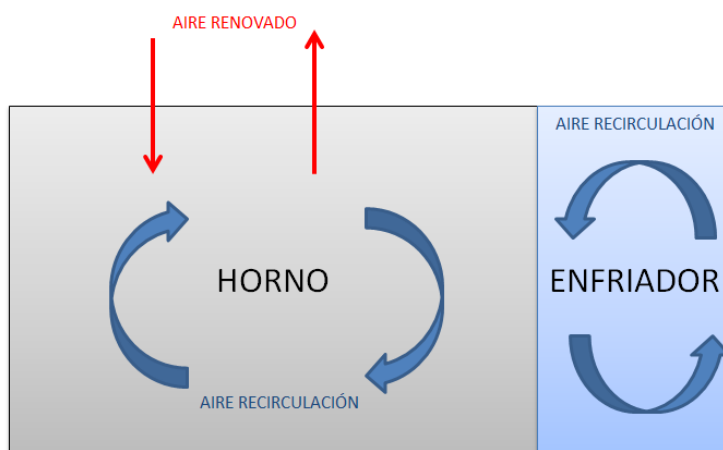
El consumo en términos de potencia está expresado en el apartado de Consumo Eléctrico de la nave 2AB en y el Consumo de Gas de la nave 2AB y 2C:

$$\text{Pot}_{\text{elect}} = 1.998 \text{ (kW)}$$

$$\text{Pot}_{\text{gas}} = 9.478 \text{ (kW)}$$

En el **ANEXO II** se pueden encontrar los valores de los tres caudales de todos los hornos de pintura.

En el siguiente esquema se muestra de forma muy simplificada el movimiento de los caudales de aire de los que se ha hablado.



**Imagen 26:** Esquema circulación del aire en los hornos.

Si el aire que se va a extraer cede su calor mediante el flujo cruzado de dos caudales sin que haya contacto entre ellos, siendo uno de los flujos el de salida y otro de ellos el de entrada al horno, se conseguiría un pre-calentamiento del caudal de aire con su consiguiente reducción del consumo de gas porque no se consume la misma potencia calentando de 10°C a 45°C (por ejemplo) que de 22°C a 45°C.

## 6. MEDIDAS DE AHORRO

### 6.1. INTRODUCCIÓN

Antes de centrarse en las medidas de ahorro que se van a estudiar relacionadas con los potenciales de ahorro vistos, se empezará explicando en qué se basan, qué tipos hay y de dónde se escogen para su aplicación en Volkswagen Navarra. Después de introducir el significado y la importancia de dichas medidas, se expondrán varias de ellas (tanto implantadas como pendientes de ello) y se analizarán y estudiarán.

Para empezar, es importante puntualizar que la principal misión de la fábrica es la producción de coches de buena calidad de la manera más rápida, eficiente y económica posible. No hay que perder este objetivo de vista ya que cualquier medida que se implante no puede interferir con estos principios. Ello nos lleva a una primera clasificación de las medidas:

#### 1ª CLASIFICACIÓN

- **Ahorros en periodos sin producción:** las medidas de este tipo se basan en el principio de que el consumo de energía de la planta debería ser para realizar la producción. Todo consumo cuando no hay producción es una ineficiencia.

Las medidas de este tipo son las primeras que se suelen tomar cuando se comienza a estudiar la eficiencia de la planta, ya que en general suponen un riesgo mínimo para la producción.

- **Ahorros en periodos con producción:** al implantar este tipo de medidas hay que tener cuidado, ya que puedan afectar a la producción. La ventaja es que al ser el consumo en estas condiciones elevado y el tiempo de funcionamiento también prolongado, los potenciales de ahorro son muy altos.



## 2ª CLASIFICACIÓN

En esta clasificación se tiene en cuenta qué se modifica.

- **Medidas organizativas:** este tipo de medidas tratan de modificar las “rutinas” que se siguen habitualmente en la gestión de las instalaciones. La primera que se suele tomar es la de establecer procedimientos (horarios) de parada y puesta en marcha de instalaciones. El coste de este tipo de medidas suele ser cero.
- **Medidas de modificación del proceso:** este tipo de medidas tratan de analizar las condiciones en las que trabajan las instalaciones y, a partir de ello, identificar parámetros que se pueden ajustar para optimizar consumos de energía. La implantación de este tipo de medidas puede suponer la modificación de programas y habitualmente se hace con los medios propios del taller, por lo que su coste es mínimo.
- **Medidas de modificación de instalaciones:** este tipo de medidas trata de modificar físicamente las instalaciones, sustituyendo elementos por otro más eficientes energéticamente o añadiendo componentes que posibiliten recuperar energía.

Estas medidas son las que se toman en último lugar, ya que suelen necesitar inversiones. A su favor tienen que los ahorros pueden ser considerables.

## 6.2. GESTIÓN MEDIDAS DE AHORRO EN VW NAVARRA (MASSNAHMEN@WEB)

El grupo Volkswagen ha generado una base de datos denominada Massnahmen@web que facilita el intercambio de ideas de métodos de ahorro entre todas sus fábricas. De esta forma, se puede ver qué medidas han realizado el resto de fábricas del grupo (no solo de la marca Volkswagen) y así poder progresar en el desarrollo de forma más rápida. Se ayudan así todas las plantas a mejorar su producción de la forma más eficiente y rápida que si solo dependiera cada planta de sí misma para medrar en su desarrollo.

Estas medidas al ser subidas a la base de datos deben tener el mismo formato que el resto para que su entendimiento sea sencillo, el esquema es el siguiente:

- 1) Denominación de la medida.
- 2) Planta y área en la que se implantaría.
- 3) Situación actual y situación deseada: antes y después.
- 4) Datos energéticos: energía ahorrada.
- 5) Datos económicos: coste de inversión y valoración económica de los ahorros.
- 6) Observaciones: descripción de cómo se han calculado los ahorros.
- 7) Seguimiento de la implantación de la medida (fechas):
  - 7.1.) HG1: identificación de la medida.
  - 7.2.) HG2: valoración de la medida.
  - 7.3.) HG3: decisión de implantación.
  - 7.4.) HG4: implementación de la medida.
  - 7.5.) HG5: verificación de los ahorros conseguidos.
  - 7.6.) HG6: medida descartada.

Se realizará a continuación un breve estudio sobre distintas medidas de ahorro ya implantadas extraídas de la Massnahmen@web con objeto de exponerlas como ejemplo de los tipos de medidas y de posibles soluciones de ahorro para la planta de pintura de Volkswagen Navarra.

**Tabla 23:** Ejemplos de tipos de medidas de ahorro energético de la Massnahmen@web.

MEDIDAS: MASSNAHMEN@WEB		PRODUCCIÓN	SIN PRODUCCIÓN	ORGANIZATIVA	PROCESO	INSTALACIÓN
<b>MODIFICACIÓN CICLO DE PARADA HORNO DE KTL:</b> <b>IST:</b> Durante el ciclo de parada del horno, permanecen en marcha TODOS los ventiladores hasta que todo el horno está por debajo de 120°C. <b>SOLL:</b> Durante el ciclo de parada permanecen en marcha los ventiladores hasta que en su zona la temperatura baja de 120°C. Los ventiladores van parándose poco a poco.			X		X	
<b>RETRASAR PUESTA EN MARCHA DE UN HORNO DE LACAS:</b> <b>IST:</b> Los dos hornos de cada cabina de pintado se arrancan el domingo a las 22:00h. <b>SOLL:</b> Para las pruebas de la arrancada solo es necesario un horno de cada cabina. Arrancar el segundo a las 2:00h para que esté a temperatura a las 5:00h.		X		X		
<b>RECUPERACIÓN DE CALOR DE LOS HORNO DE LACAS DE LA NAVE N2B</b> <b>IST:</b> En las chimeneas de hornos de lacas se tienen dos focos emisores de aire caliente denominados N2B con las siguientes características en cada uno de ellos: Caudal: 9.000 Nm3/h, temperatura: 160°C. En la misma zona se encuentra la entrada de aire nuevo del horno de UBS N2B, con las siguientes características: Caudal: 10.000 Nm3/h, temperatura: 120°C Actualmente no se aprovecha la energía calorífica que se genera en dichos hornos. <b>SOLL:</b> La propuesta de recuperación plantea el aprovechamiento de la energía térmica que contiene el aire caliente de la chimenea del horno de Lacas. Mediante un intercambiador de calor aire/aire (reutilizado del viejo horno de KTL) se calentará el aire nuevo del horno de UBS hasta 120°C. El ahorro esperable en estas condiciones es de 370 kW.		X			X	
<b>SUSTITUCIONES DE MOTORES ELÉCTRICOS POR OTROS DE MAYOR EFICIENCIA</b> <b>IST:</b> Los motores instalados IE2 <b>SOLL:</b> Sustituirlos por motores IE3						X
<b>MODIFICACIÓN DE LA CURVA DE SECADO EN LOS HORNO DE LACAS</b> <b>IST:</b> Se mantienen las temperaturas de horno iniciales. <b>SOLL:</b> Se consigue un ahorro energético bajando la temperatura en la zona de entrada del horno para que la subida de la temperatura de la carrocería sea más suave.		X		X		
<b>REDUCIR CAUDAL DE AIRE EN LOS HORNO DE LACAS</b> <b>IST:</b> Caudal de aire del incinerador alto. La temperatura del gas emitido a la atmosfera alta (>200°C). <b>SOLL:</b> Reducir un 10% el caudal de aire de incinerador. Temperatura de emisión a la atmosfera menor.		X			X	
<b>PARA DE CALDERAS DE UNA LÍNEA DE PINTADO EN VERANO</b> <b>IST:</b> Cada línea de pintado tiene su propio circuito de agua sobrecalentada. <b>SOLL:</b> En periodos de poca demanda de calor (verano) unir los circuitos de ambas líneas de pintado, y trabajar con un solo grupo de calderas.			X			

En esta tabla se han recogido al menos dos ejemplo de cada tipo de clasificación de las medidas, las cuales ya han sido implantadas o están en vías de desarrollo.

## 7. ESTUDIO TEÓRICO DE LAS MEDIDAS DE AHORRO ELEGIDAS PARA LOS POTENCIALES DE AHORRO LOCALIZADOS

En este apartado se van a presentar las tres medidas de ahorro escogidas para los puntos de máximo potencial de ahorro.

Para el punto de potencial de ahorro de los hornos se expondrá una medida ya implantada que supuso una gran reducción tanto de gas como de electricidad.

Para el punto de potencial de ahorro de los ZLA se estudiará una medida propuesta, pero no desarrollada ni implantada. Ésta se basa en el aprovechamiento del calor del caudal de salida de una rueda deshumectadora<sup>15</sup> de los hornos intermedios en la época invernal mezclándolo con el aire que toman del exterior y así reducir el consumo de gas que se destina al acondicionamiento del aire de los ZLA.

Y por último, para el punto de potencial de ahorro de las bombas del ESKA se estudiará otra medida propuesta pero sin desarrollar ni implantar, que consiste en la instalación de variadores de frecuencia para el control del caudal de salida de las bombas.

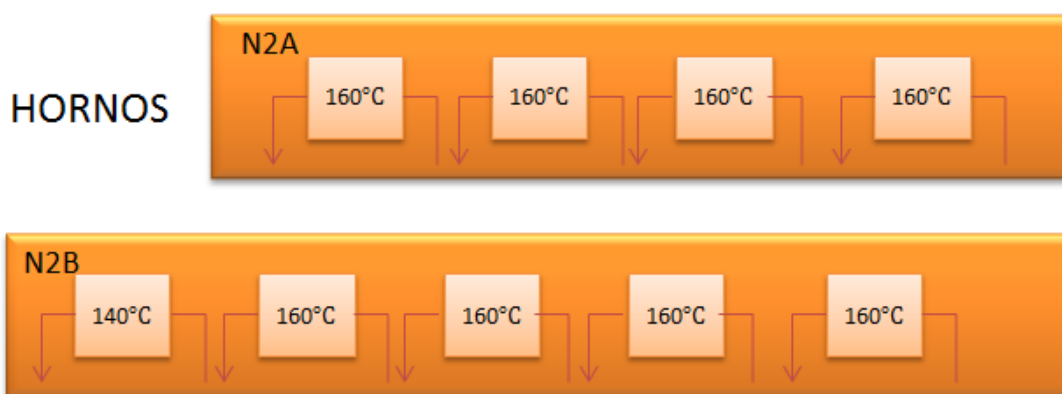
---

<sup>15</sup> Deshumectadora: rueda encargada de extraer la humedad del caudal de aire que circula a través de ella.

## 7.1. REDUCCIÓN TEMPERATURA DE LOS HORNOS.

Como se ha visto uno de los tres puntos con mayor potencial de ahorro es el de los hornos. Esto se debe a que es uno de los procesos que más consume ya sea por sus ventiladores y la cantidad de caudal que mueven o por sus quemadores y el gas que consumen para calentar dichos caudales de aire.

Para reducir dicho consumo se implantó una medida de ahorro con la que se obtuvieron muy buenos resultados en la nave 2AB y que se expondrá a continuación.



**Imagen 27:** Composición de los hornos de lacas de la nave 2A y 2B.

De todos los hornos de la nave 2AB hemos escogido centrarnos en los hornos de lacas, donde se aplicó la siguiente medida que vamos a analizar. El caudal total de estos cuatro hornos es de 3.009.000 m<sup>3</sup>/h.

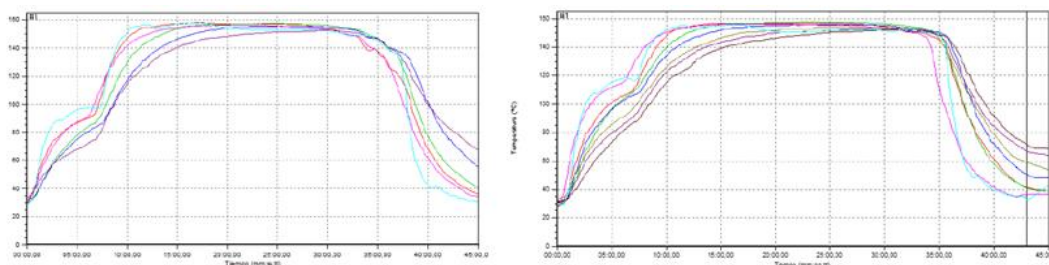
La especificación de secado de las carrocerías es de 22 min y de 135 °C aunque el tiempo total que la carrocería está en el horno (tiempo para alcanzar la temperatura de secado, el secado y su paso por la enfriadora) es de 45 min. La velocidad de diseño a la que pasaba la carrocería era de 1,95 m/min y esto conlleva una capacidad de secado de aproximadamente 1.800 carrocerías/día. En la actualidad al día solo se demandan alrededor de 1.500 carrocerías/día por lo que este proceso estaba sobredimensionado, no llegando nunca a su máximo de capacidad.

Esto brindaba la oportunidad de bajar la velocidad de las carrocerías, lo que

supondría que estarían más tiempo dentro. Se tomó la decisión de bajar la velocidad a 1,8 m/min, con lo que el tiempo de permanencia aumentó.

La bajada de velocidad a 1,8 m/s permitió diferentes medidas en los hornos de la N2A y de la N2B, ya que son físicamente diferentes. Al reducir la velocidad de transporte aumentó el tiempo de permanencia paso a 49 min (aproximamos a 50 min). En los de la N2B, que son más largos y tienen un grupo de calentamiento más, se pudo parar el grupo de calentamiento de la entrada, ventilador y quemador. En los hornos de la N2A, que son más cortos, no se pudo llegar a parar completamente los grupos de calentamiento de la entrada, sino que solo se pudo bajar la temperatura en esa zona de 160°C a 140°C, sin llegar a parar el ventilador.

La medida que se tomó para los hornos de la nave 2B fue dejar de poner en funcionamiento el primer Grupo de Calentamiento. Con ello se consiguió un ahorro energético tanto eléctrico (debido al ventilador que mueve el caudal de aire de ese Grupo de Calentamiento) como de gas (ya que no tiene que calentar el aire entrante al horno).



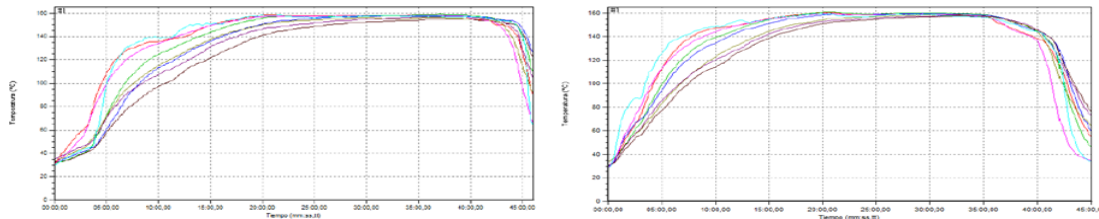
**Gráfica 33:** Izq.: antes de la eliminación del G.C.; Dch.: después de la eliminación del G.C.

En términos de potencia el ahorro se expresa de la siguiente forma:

$$\text{Pot}_{\text{elec}} = 44(\text{kW})$$

$$\text{Pot}_{\text{gas}} = 250(\text{kW})$$

Para la nave 2A no podía aplicarse el mismo método puesto que sus hornos son más pequeños y por tanto si se dejase fuera de funcionamiento uno de sus G.C. la carrocería no llegaría a la temperatura mínima que necesita.



**Gráfica 34:** Izq.: antes de la reducción de temperatura; Dch.: después de la reducción de temperatura.

Por ello el método que se decidió fue bajar un poco la temperatura de sus grupos de calor, de tal forma que no se pusieran en peligro los rangos de temperatura mínimos para la carrocería pero se pudiera lograr un ahorro energético de gas igual que en la otra nave.

$$\text{Pot}_{\text{gas}} = 250(\text{kW})$$

Teniéndose un ahorro energético total de:

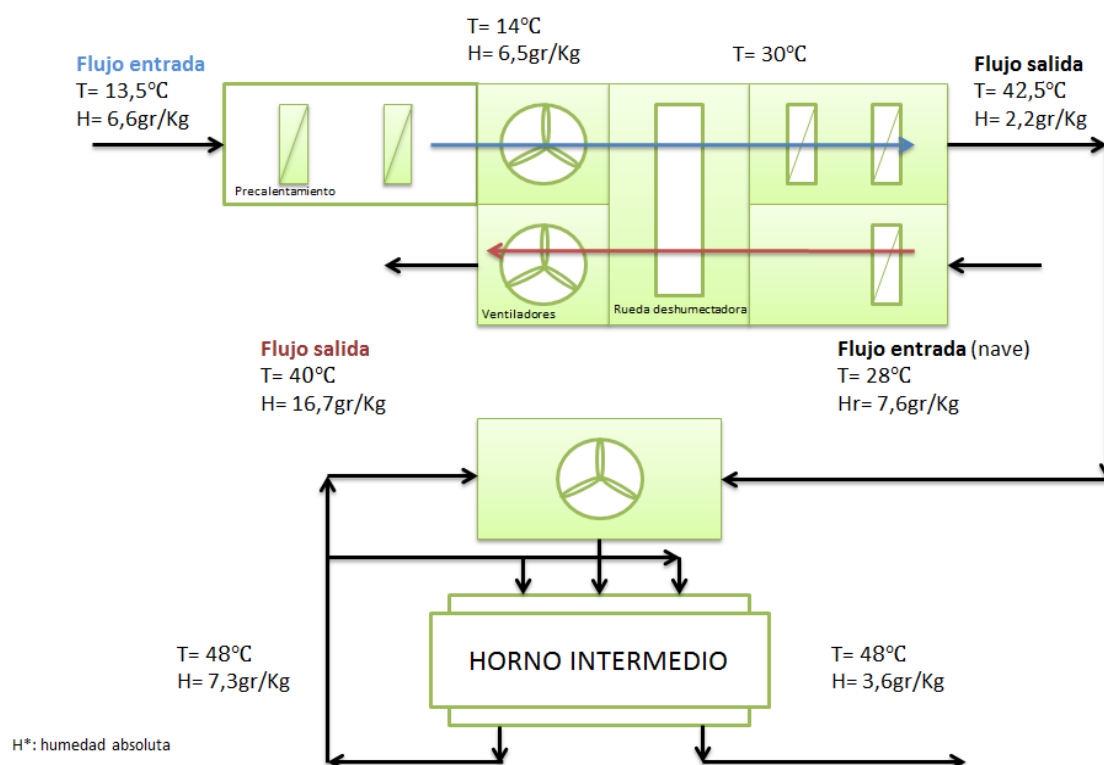
$$\text{Pot}_{\text{total gas}} = 500(\text{ kW}) \text{ y } \text{Pot}_{\text{total elec}} = 44(\text{kW}).$$

Y un ahorro económico total de:

$$\text{Ahorro}_{\text{€}} = \left[ 500(\text{kW}) * 0,03551 \left( \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right) + 44(\text{kW}) * 0,08475 \left( \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right) \right] * 24 \left( \frac{\text{h}}{\text{día}} \right) * 210 \left( \frac{\text{días laborables}}{\text{año}} \right) = 108.279,36 \left( \frac{\text{€}}{\text{año}} \right)$$

## 7.2. RECUPERACIÓN DE CALOR DE RUEDA DESHUMECTADORA EN HORNO INTERMEDIO A CABINAS DE PINTURA

Para entender mejor el funcionamiento y propósito de la medida que se quiere implantar, es preciso ver con anterioridad un esquema de los flujos de los caudales de entrada y de salida de un horno intermedio con una rueda deshumectadora:



**Imagen 28:** Esquema de flujos de la instalación del horno intermedio con la rueda deshumectadora.

El horno intermedio utiliza aire a una temperatura de entre  $45-50^{\circ}\text{C}$  y seco, por lo que el aire que se coge del exterior debe ser precalentado antes de introducirse dentro del horno y además se le debe extraer un alto porcentaje de humedad. Para ello se utiliza una rueda deshumectadora, la cual absorbe la humedad del caudal de aire de entrada, pero dicha humedad que se queda en la rueda no puede almacenarse ahí ya que se saturaría así que debemos retirársela. La forma de quitarle la humedad a la rueda es, utilizando el aire de la nave, aumentar su temperatura a unos  $100^{\circ}\text{C}$  de tal forma que se incremente su capacidad de absorción de humedad y luego se le haga pasar a través de



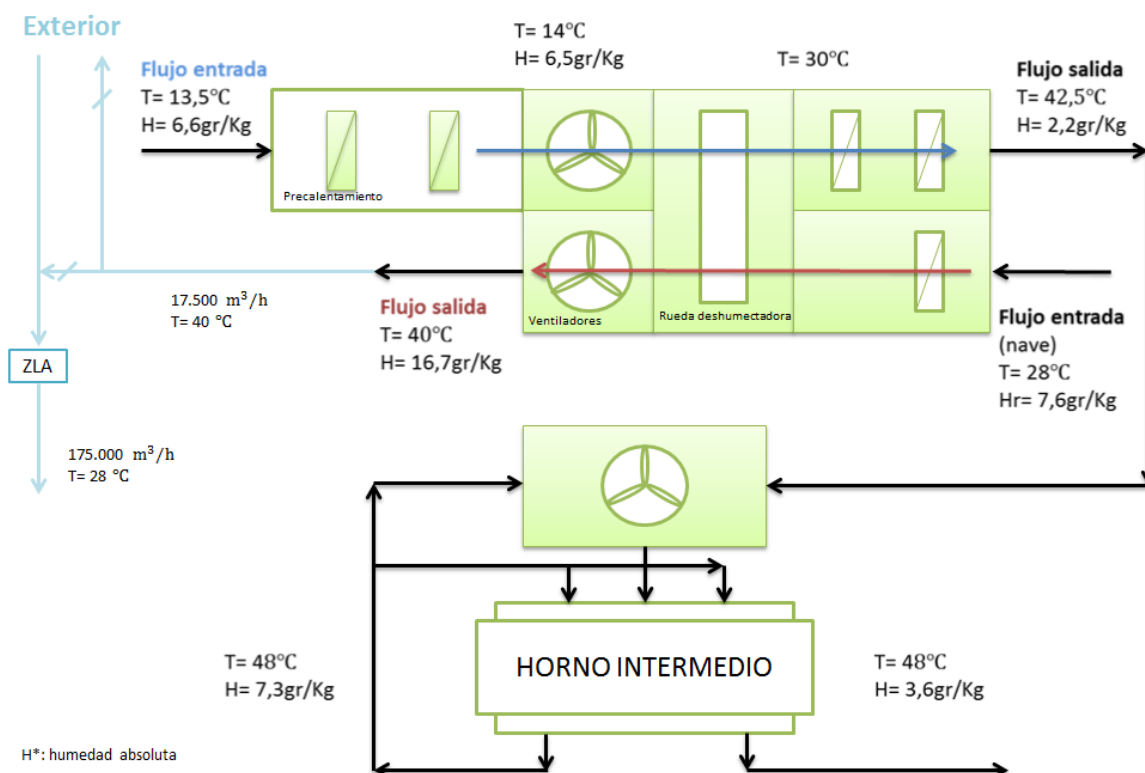
la rueda. Aprovechando la temperatura de este caudal de aire y su paso en contacto con la misma rueda que seca el caudal de entrada, éste pasa su calor a la instalación y la rueda al caudal de aire primario, aumentando de esta forma entre unos 12-15°C.

Así es el funcionamiento de la instalación actual, la medida que se quiere llevar a cabo es aprovechar en temporada invernal la temperatura del caudal de salida de la rueda utilizado para la extracción de humedad que se ha cogido previamente de la nave. El aire que se encuentra en la nave es aire filtrado y acondicionado por medio de los ZLA y se encuentra en torno a los 25°C. Teniendo en cuenta que en invierno la temperatura del exterior puede alcanzar temperaturas  $\leq 0^\circ\text{C}$  y el gasto en gas que supone incrementar su temperatura unos 25°C, se propone aprovechar el caudal de salida de la rueda que se encuentra a unos 45°C y tiene un valor de unos 17.500 m<sup>3</sup>/h e introducirlo en un climatizador de la cabina de pintado (ZLA), de modo que el climatizador tome 157.500 m<sup>3</sup>/h de aire del exterior y los 17.500 m<sup>3</sup>/h recuperados del horno intermedio.

De este modo, el ahorro obtenido es la diferencia de entalpía que hay en los 17.500 m<sup>3</sup>/h que ahora se toman del horno intermedio y antes se tomaban del exterior.

En época de verano no obstante, la temperatura del exterior sobrepasa a veces la temperatura de acondicionamiento de la cabina, haciéndose así innecesaria la aportación del flujo de salida de la rueda. En este caso se dispondría de unas válvulas reguladoras que harían que en verano el caudal a 40°C salga directamente al exterior y el ZLA únicamente adquiriera aire de fuera de la nave, mientras que en invierno se cogerá aire de ambos sitios.

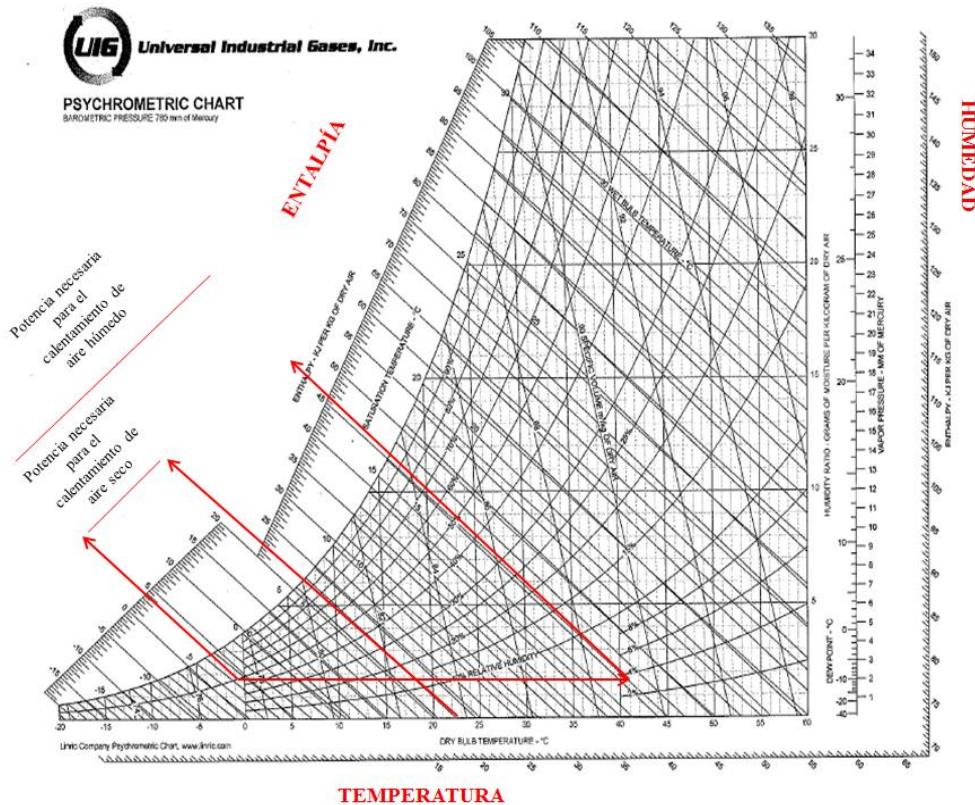
Para mejor visualización de la medida propuesta y base del siguiente estudio, se expone el esquema anterior del horno intermedio con la rueda pero con la modificación incluida.



**Imagen 29:** Esquema de flujos de la instalación del horno intermedio con la rueda deshumectadora con aprovechamiento de caudal de salida de dicha rueda.

Para poder calcular el ahorro que supondría este proyecto, se hará el estudio con los datos del año 2014.

Hay que tener en cuenta que para calentar un volumen de aire, no es lo mismo si éste es aire seco o si es aire húmedo, ya que para el aire con un cierto porcentaje de humedad habrá que aplicarle mayor potencia calorífica para aumentar su temperatura que si el aire careciera de dicha humedad. Esto queda demostrado en el diagrama psicométrico del aire que se ha mostrado anteriormente y que se puede volver a observar aquí:



**Gráfica 35:** Diagrama psicrométrico donde se ejemplifica que se necesita más entalpía para aumentar la misma temperatura de un gas con humedad.

La entalpía se mide en kJ/kg, lo que significa que es la energía necesaria para calentar el fluido por kg de masa, así que para poder hallar la potencia que se consigue ahorrar reutilizando el caudal de aire de salida de la rueda, nos valdremos de la siguiente ecuación:

$$\text{Ahorro} = [H_1 - H_2] \left( \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) * Q \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) * \rho \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) * \frac{1}{3600(\text{s})}$$

Siendo:

$[H_1 - H_2] \left( \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$ : La diferencia de entalpía que hay entre el caudal de aire de salida de la rueda (con alto porcentaje de humedad) y el caudal de entrada del exterior (a menor humedad).

$Q \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$ : El caudal de aire que se recircula del horno intermedio al ZLA.

$\rho \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$ : La densidad por metro cúbico de volumen del aire.

Como sólo nos valdremos de este nuevo sistema de ahorro cuando realmente sea necesario, es decir, en la época más fría del año, y ya que la humedad y entalpía dependen de la temperatura del aire, el estudio se hace con los datos de todo el año teniendo en cuenta sólo días laborables y como especificaciones que el caudal de entrada del ZLA (aire exterior) tenga una humedad menor a 8 gr/kg y una entalpía que no sobrepase los 45 kJ/m<sup>3</sup>.

**Tabla 24:** Parámetros para el cálculo del ahorro.

PARAMETROS			
Aire de proceso			Limitado por:
Temperatura antes de la rueda	máxima:	12 °C	Batería de preenfriamiento
	mínima:	5 °C	Batería de precalentamiento
Humedad antes de la rueda	máxima:	7,5 gr/kg	Batería de preenfriamiento
	mínima:	2 gr/kg	Humedad ambiente en invierno
Temperatura despues de la rueda:	mínima:	12 °C	Invierno. Quemador de regeneración parado
		32 °C	Verano. Quemador de regeneración al máximo
Humedad despues de rueda:	mínima:	2 gr/kg	regulación para mantener condiciones en el horno
	máxima:	2,5 gr/kg	Límite de capacidad de la rueda 5 gr/kg
Aire de regeneración			
Temperatura antes de rueda	mínima:	25 °C	Invierno. Con quemador parado. Temperatura de nave
	máxima:	100 °C	Máxima temperatura del quemador
Aire de regeneración			
Aire de proceso	nominal	47.500 m <sup>3</sup> /h	
Aire de regeneración	nominal	17.500 m <sup>3</sup> /h	
Control de la recirculación			
Temperatura ambiente para recircular	máxima:	18 °C	
Humedad ambiente para recircular	máxima:	8 gr/kg	

Con todo ello y teniendo en cuenta que tenemos como objeto de estudio dos caudales que trata el ZLA aprovechando el caudal de salida de la rueda de los hornos intermedios, sólo tendremos en cuenta para este estudio el caudal de aire de recirculación (**ANEXO II**), tenemos un ahorro energético total:

$$\text{Ahorro}_{\text{gas}} = 877.017 \text{ (kWh/año)}$$

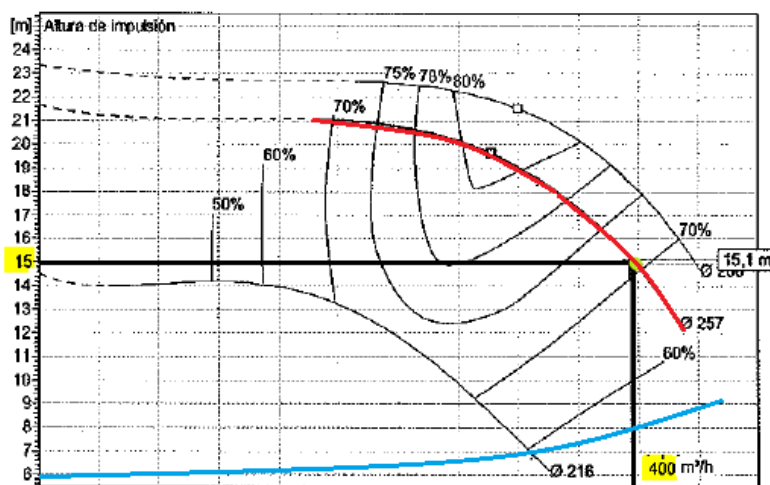
Y se tiene un ahorro económico:

$$\text{Ahorro}_{\text{€}} = 877.017(\text{kWh/año}) * 0,03551 \left( \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right) = 31.142,87 \left( \frac{\text{€}}{\text{año}} \right)$$

### 7.3. VARIADORES DE FRECUENCIA EN LAS BOMBAS DEL ESKA

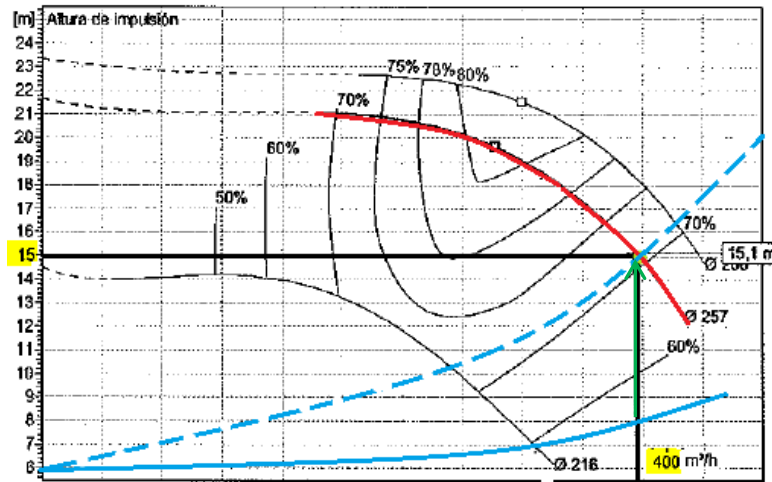
Las bombas del ESKA (de las que se ha hablado antes en el apartado de potenciales de ahorro) tienen una capacidad nominal de 400 m<sup>3</sup>/h y funcionan al pleno de su capacidad ya que en cada nave (N2A y N2B) de cinco bombas instaladas únicamente funcionan cuatro de ellas.

No obstante comprobamos que en la gráfica de funcionamiento de la hoja de características si se instala y se pone en marcha directamente la bomba (salvo la válvula de anti retorno) se tendrán problemas de cavitación ya que su curva de carga de la instalación (azul) y la curva característica de la bomba (roja) no se cortan en su rango de trabajo.



Gráfica 36: Curva características bomba del ESKA.

Para resolver el problema de la cavitación, la solución más sencilla y que es la que está en vigor actualmente, es estrangular el caudal de salida de la bomba para modificar la curva de carga de la instalación (azul discontinua) lo que introduce un punto de pérdida de carga adicional del estilo de P (presión) x Q (caudal) ya visto en el apartado [5.2.2.] en el punto de caudal de 400 m<sup>3</sup>/h donde se está trabajando.



**Gráfica 37:** Curva característica bomba estrangulada a la salida del ESKA.

Para hacer que ambas curvas corten en el punto deseado de forma más eficiente que anteriormente, se modificará la curva de la bomba en vez de la curva de la instalación.

Aplicando las leyes de afinidad de las bombas tenemos:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{V_2}{V_1}; \frac{Pot_2}{Pot_1} = \frac{H_2}{H_1} * \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{V_2}{V_1} * \frac{H_2}{H_1}$$

Sabiendo que Q: caudales; H: alturas (presiones) y V: velocidades.

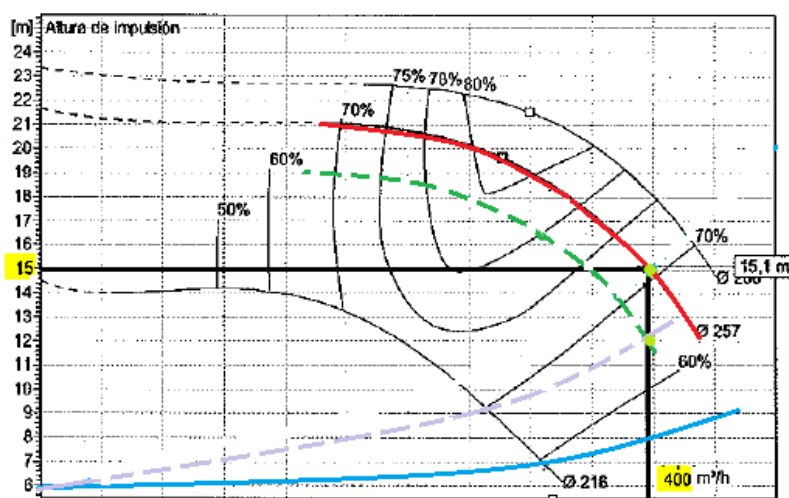
$$\frac{H_2}{H_1} \propto \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2 \xrightarrow{\text{Entonces}} \frac{Pot_2}{Pot_1} = \frac{V_2}{V_1} * \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2 = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^3$$

De esta forma se comprueba que variando el régimen de giro de la bomba podremos modificar su curva. Para ello se recurre a un variador de frecuencia que proporcionará la ayuda necesaria mediante el control V/f constante para ir cambiando la velocidad de giro del eje de la bomba y así controlar su potencia y de ésta forma variar

el caudal de salida de la bomba, el cual seguirá estrangulado pero en menor medida que tal y como está ahora.

Aun con todo ello, no se conseguirá que la intersección de las curvas de carga y bomba esté dentro de la zona en la que necesitamos que trabaje, aunque lo hará de un modo muy aproximado, con su velocidad al 95% de la nominal.

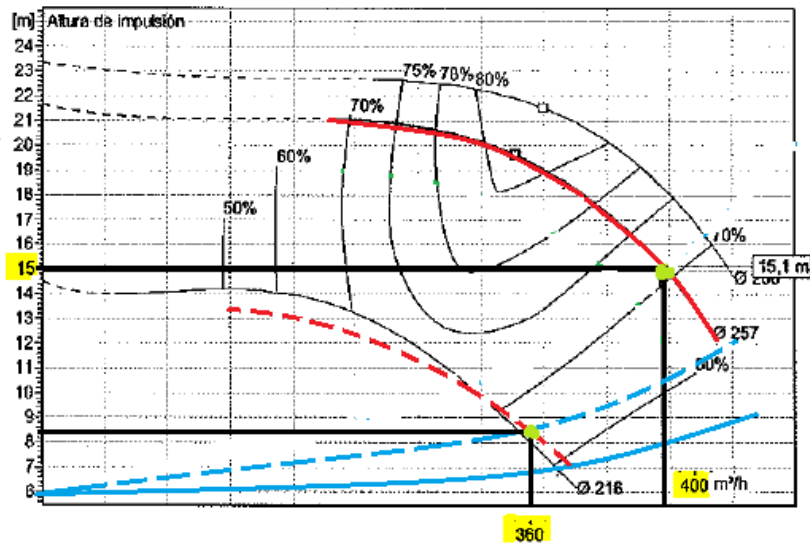
Aplicando este método se conseguiría reducir la pérdida de carga que se tiene actualmente.



**Gráfica 38:** Curva característica bomba estrangulada con variador V/f a la salida del ESKA.

Otra posibilidad es trabajar con cinco bombas a un caudal de  $320 \text{ m}^3/\text{h}$ , bajando la velocidad de giro con el variador. Esto nos permite abrir aún más la válvula de salida y reducir las pérdidas. Esta medida tiene otro efecto, y es que el punto de trabajo de la bomba se desplaza más hacia la derecha, lo que hace que el rendimiento hidráulico de la bomba baje al 65%, no obstante sigue siendo más eficiente. Esto genera una pérdida en el rendimiento de la bomba pero que se compensa con el uso de los variadores tal y como se demuestra a continuación.





**Gráfica 39:** Curva característica bomba de caudal 320 m³/h estrangulada con variador V/f a la salida del ESKA.

Se ha calculado en el apartado de potenciales de ahorro la potencia consumida actualmente por las bombas del ESKA:

$$\begin{aligned} \text{Pot}_{\text{total}} &= n^{\circ} \text{bombas} * P * \dot{Q} = 16 * 150000 (\text{Pa}) * \frac{400 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)}{3600 \left( \frac{\text{s}}{\text{h}} \right)} \\ &= 16 * 16.6 (\text{kW}) \xrightarrow{\eta=70\%} \text{Pot}_{\text{total neta eje}} = \frac{265,6}{0,7} = 379.42 (\text{kW}) \end{aligned}$$

Y si ahora calculamos la potencia que consumirían las 5 bombas por cabinas tendríamos el siguiente consumo:

$$\begin{aligned} \text{Pot}_{\text{T-320}} &= n^{\circ} \text{bombas} * P * \dot{Q} = (5 * 4) * 96.000 (\text{Pa}) * \frac{320 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)}{3.600 \left( \frac{\text{s}}{\text{h}} \right)} \\ &= 170,6 (\text{kW}) \xrightarrow{\eta=63\%} \text{Pot}_{\text{T neta 320}} = \frac{170,6}{0,65} = \mathbf{262,56 (\text{kW})} \end{aligned}$$

Entonces el ahorro de potencia es:



$$\mathbf{Pot_{Ahorro} = Pot_{total\ actual} - Pot_{total\ 320} = 379.42 - 262.56 = 116.86(kW)}$$

Para poder hallar el ahorro económico traducimos el ahorro de potencia a energía, sabiendo que el estándar de número de días laborables en un año es de 200 días y contando con que se trabaja en 3 turnos de 8 horas por lo que las bombas están en funcionamiento las 24h de cada día laborable:

$$\mathbf{Energía_{Ahorro} = 116,86(kW) * 200 \left( \frac{días}{año} \right) * 24 \left( \frac{h}{día} \right) = 901.461(kWh/año)}$$

$$\mathbf{Ahorro_{€} = 901.461 * 0,08475 \left( \frac{€}{kWh} \right) = 71.117€/año}$$

## 7.4. CONCLUSIONES MEDIDAS DE AHORRO

Tras el estudio tanto de los puntos en los que sería más viable implantar una medida de ahorro, puesto que es donde más se consume y donde el ahorro se haría más significativo, y el cálculo de éstos, tenemos la siguiente tabla donde se recoge el consumo actual y el ahorro que se obtendría al año si se aplicasen las medidas que se han estudiado (excepto la medida de los hornos puesto que ésta ya se ha realizado y se tiene un ahorro energético y económico favorable).

**Tabla 25:** Cuadro resumen del ahorro del ahorro de las medidas estudiadas.

MEDIDAS	POTENCIA CONSUMIDA (kW)	POTENCIA AHORRO (kW/año)	AHORRO ECONÓMICO (€/año)
<b>VENTILACIÓN</b>	10.950	324	31.142
<b>BOMBAS</b>	379,42	180	72.117
<b>HORNOS</b>	5.203	544	108.279

Se comprueba que el ahorro obtenido en cada medida es lo suficientemente alto como para implementar las medidas viendo cuánto tiempo después de la inversión inicial empieza a ser rentable.

Para la medida de los hornos, que ya está implantada y además no tiene inversión inicial, se demuestra que su medida de ahorro es muy buena ya que resultó altamente rentable desde el principio.

Para la ventilación se realizó una estimación inicial de la inversión de 55.000€, lo que supone que en 1,8 años se recuperará la inversión, lo que significa además que también será viable su implementación.

La medida de la instalación de variadores en las bombas del ESKA tiene una estimación de su inversión que asciende a los 65.000€, lo que supone que se recuperará la inversión en 1,36 años y por lo tanto su implementación se hace viable también.

## 8. CONCLUSIONES

Con este trabajo se ha documentado la estructura energética de las instalaciones de Pintura y la estrategia seguida por la empresa para incrementar la eficiencia energética. Dicha documentación facilitará posteriores estudios en este campo, ya que uno de los puntos débiles cuando se va a realizar cualquier actuación en el campo de la eficiencia energética suele ser la dificultad y la cantidad de trabajo que supone el acceder a este tipo de información. Cualquier decisión que se adopte en temas de eficiencia energética, y que se base en unos datos poco exactos de la situación actual, tiene como resultado una actuación ineficaz.

El estudio de las estrategias y objetivos seguidos por VW Navarra para aumentar la eficiencia energética, servirá de ejemplo de la efectividad que resulta de trabajar en este camino. Este trabajo es un buen ejemplo de cómo una empresa que ya en su sector es la más eficiente energéticamente, siguiendo un proceso de análisis y estudio de sus instalaciones puede seguir mejorando su eficiencia.

Un aspecto que se ha observado al realizar este trabajo ha sido la utilidad de disponer de un Sistema de Gestión de la Energía (SGE). Dicho sistema facilita enormemente el estudio del comportamiento energético de una instalación ya que se puede tener información de cómo evoluciona el consumo a lo largo del tiempo en diferentes condiciones de trabajo, ambientales o el efecto de cualquier otro factor en los consumos. Se ha comprobado al ver el tiempo que ha supuesto recoger los consumos de las instalaciones que estaban incluidas en el SGE y las que no, y se ha propuesto una nueva reestructuración de los datos ofrecidos por el programa al comprobarse la dificultad que se tenía para encontrar los consumos de las diferentes naves que comprende Pintura.

Este trabajo aporta valor sobre lo que ya realiza Volkswagen, y que es la utilidad de tener un estudio más teórico de las medidas de ahorro que se plantean, lo que permite poder valorar los ahorros con más precisión y no llevarse sorpresas cuando una medida se implanta y el resultado no es el esperado en su previsión.



## ANEXO I

### BIBLIOGRAFÍA

- Presentación 2015 Volkswagen Navarra – Volkswagen Navarra, S.A.
- Manuales de Mantenimiento: naves 2C, 2AB y 2 – Volkswagen Navarra, S.A.
- Intranet Volkswagen – Volkswagen Navarra, S.A.
- Sistema Gestión de la Energía – Volkswagen Navarra, S.A.
- Programa BDATA - Volkswagen Navarra, S.A.
- Hoja de características: bombas – Bombas Itur, S.A.
- Hoja de características: ventiladores - Dürr
- Informes de consumos de los años 2013, 2014 y 2015 en Pintura – Volkswagen Navarra, S.A.
- Propuestas energéticas – Endesa, Siemens y Dürr
- Pliegos de Condiciones – Dürr

## ANEXO II

### ANEXO II-I

Hojas de Excel en las que se agrupan todos los datos recogidos y los cálculos y gráficas realizadas para la obtención de la variación de los consumos energéticos de Pintura durante los años 2013, 2014 y 2015 estudiados en el punto 4.

### ANEXO II-II

Datos sobre los caudales de aire y gas en los hornos y ZLA para el cálculo de los potenciales de ahorro del punto 5.

### ANEXO II-III

Datos sobre las temperaturas y humedades del aire exterior a lo largo de los años 2014 y 2015 utilizados para la comprobación y explicación en el punto 4 de la dependencia del consumo de gas con la temperatura ambiente.

